

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh tepelného čerpadla vzduch – voda

Air to Water Heat Pump Design

Student: Bc. Martin Kovář

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Ostrava 2012

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Kovář**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení  
Téma: **Návrh tepelného čerpadla vzduch-voda**  
**Air to Water Heat Pump Design**

### Zásady pro vypracování:

Vypracujte projekt systému vytápění a přípravy teplé vody ve vybraném rodinném domě s využitím tepelného čerpadla vzduch-voda. Při návrhu vycházejte z konkrétních klimatických poměrů v dané lokalitě. Diplomová práce bude obsahovat:

1. Výpočet sezónní potřeby tepla pro vytápění a přípravu teplé vody, kapacitní a bilanční výpočty.
2. Konstrukční návrh tepelného čerpadla a zapojení TČ do stávajícího systému.
3. Stanovení environmentálního přínosu projektu a ekonomické vyhodnocení.

### Grafické práce:

1. Sestava tepelného čerpadla.
2. Schéma systému vytápění a přípravy teplé vody.
3. Dispoziční uspořádání v rámci objektu.

### Seznam doporučené odborné literatury:


KAMINSKÝ, J.; VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.  
NOVÝ, R. a kol. *Technika prostředí*. Praha : Nakladatelství ČVUT, 2006. 267 s. ISBN 80-01-03492-5.  
DVOŘÁK, Z.; KLAZAR, L.; PETRÁK, J. *Tepelná čerpadla*. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987. 339 s.  
TURNER, W. C. *Energy Management Handbook*. 5. vydání, Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 400 s. ISBN: 0-13-728098-X.  
MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. 2. vyd. New York : John Wiley & Sons Inc., 1992. 844 s. ISBN 0470030372.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

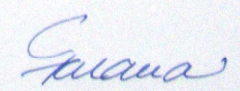
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

  
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty



Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 21.5. 2012 .....

.....  
podpis studenta



Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě... 21.5.2012

.....  
Kovář Martin

podpis studenta

Adresa trvalého pobytu:

Martin Kovář

Loučka 100

783 22

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KOVÁŘ, M. *Návrh tepelného čerpadla vzduch – voda: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2012, 85 s. Vedoucí práce: Vrtek, M.

Diplomová práce se zabývá návrhem tepelného čerpadla vzduch – voda pro rodinný dům v konkrétní dané lokalitě. První částí diplomové práce je zaměřená na výpočet sezónní spotřeby tepla pro vytápění a přípravu teplé vody. Druhá část obsahuje konstrukční návrh základních částí tepelného čerpadla a zapojení TČ do stávajícího systému. V závěru je provedeno ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení, environmentální hodnocení, návratnost a investice.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

KOVÁŘ, M. *Air to Water Heat Pump Design: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2012, 85 p. Thesis head: Vrtek

This thesis deals with the design of heat pumps air - water for the house in particular in the area. The first part of this thesis is focused on the calculation of the seasonal heat consumption for heating and hot water. The second part contains the basic structural design of the heat pump and heat pump to an existing connection system. In conclusion of the economic evaluation of proposed solutions, environmental assessment and return on investment.

## Obsah

Seznam použitých značek .....	9
1. Úvod .....	16
2. Popis rodinného domu .....	17
3. Výpočet tepelných ztrát objektu .....	17
3.1 Potřebné hodnoty k výpočtu .....	17
3.2 Příklad výpočtu tepelné ztráty místnosti č. 1.09 – obývací pokoj .....	18
3.2.1 Výpočet součinitele prostupu tepla.....	18
3.2.2 Výpočet základní tepelné ztráty . .....	19
3.2.3 Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla .....	20
3.3.4 Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí .....	20
3.3.5 Výpočet tepelné ztráty prostupem tepla .....	21
3.3.6 Výpočet tepelné ztráty větráním .....	21
3.3 Výpočet celkové tepelné ztráty .....	23
4. Spotřeba tepla na vytápění .....	25
4.1 Vstupní klimatologická data .....	25
4.2 Výpočet denostupňovou metodou .....	25
4.2.1 Roční spotřeba tepla .....	26
4.2.2 Spotřeba tepla k přípravě TUV.....	26
4.2.3 Roční odběr tepla pro zásobování TUV .....	28
4.2.4 Celková spotřeba tepla .....	28
4.3 Roční spotřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát rodinného domu .....	29
4.3.1 Potřeba tepla na přípravu teplé vody (TV) .....	30
4.3.2 Potřeba tepla pro předehřev TV .....	30
4.3.3 Potřeba tepla pro dohřev TV .....	32

4.3.4	Celková potřeba tepla .....	35
4.4	Volba akumulční nádrže s elektrokotlem ANE.....	36
4.5	Návrh expanzní nádoby.....	37
4.6	Návrh oběhových čerpadel .....	41
5.	Návrh tepelného čerpadla .....	43
5.1	Princip (TČ).....	43
5.2	Technický princip tepelného čerpadla.....	43
5.3	Návrh tepelného čerpadla vzduch – voda .....	44
5.3.1	Výpočet průměrů potrubí TČ .....	49
5.4	Volba jednotlivých dílů tepelného čerpadla .....	51
5.5	Výměníky tepla .....	51
5.5.1	Návrh kondenzátoru .....	51
5.5.2	Výběr výparníku .....	52
5.5.3	Výběr kompresoru .....	54
5.5.4	Výběr sběrače kapaliny.....	55
5.5.5	Výběr filtrdehydrátoru .....	56
5.5.6	Výběr čtyřcestného reverzního ventilu .....	57
5.5.7	Výběr průhledítka .....	58
5.5.8	Výběr elektromagnetického ventilu .....	58
5.5.9	Výběr presostatů .....	59
5.5.10	Výběr expanzního ventilu .....	60
6.	Provoz tepelných čerpadel .....	61
6.1	Způsob provozu tepelného čerpadla.....	61
6.2	Monovalentní provoz .....	61
6.3	Monoenergetický provoz .....	62
6.4	Paralelně bivalentní provoz .....	62

6.5	Alternativně bivalentní provoz .....	62
6.6	Částečně paralelně bivalentní provoz .....	63
6.7	Dimenzování tepelného čerpadla (TČ) .....	64
6.8	Stanovení bivalentního bodu .....	64
7.	Ekonomické hodnocení .....	65
7.1	Předpokládané náklady výstavbu tepelného čerpadla vzduch – voda .....	65
7.2	Provozní náklady .....	66
7.3	Provozní náklady v otopné sezoně .....	68
7.4	Provozní náklady mimo otopnou sezonu .....	70
7.5	Celkové roční provozní náklady .....	74
7.6	Náklady na vytápění rodinného domu zemním plynem .....	75
7.7	Návratnost .....	76
8.	Environmentální hodnocení .....	77
9.	Závěr .....	81
	Seznam použité literatury ..	83
	Použité výpočtové programy ..	84
	Seznam příloh .....	84
	Seznam výkresů .....	85



<b>Značka</b>	<b>Název</b>	<b>Jednotka</b>
a	skutečná měrná práce kompresoru	[kJ/kg]
a <sub>t</sub>	teoretická měrná práce kompresoru	[kJ/kg]
B	charakteristické číslo budovy	[Pa <sup>0,67</sup> ]
CO <sub>2,ZP</sub>	množství emisí CO <sub>2</sub> za rok	[kg/rok]
c <sub>p,dohřev</sub>	měrná tepelná kapacita TV při dohřevu	[J kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
c <sub>p,OS</sub>	měrná tepelná kapacita vody v otopné soustavě	[kJ kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
c <sub>p,TV</sub>	měrná tepelná kapacita TV	[kJ kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
c <sub>p,voda</sub>	měrná tepelná kapacita vody	[J kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
c <sub>p,zásobník,TV</sub>	měrná tepelná kapacita TV v zásobníku pro střední teplotu vody	[kJ kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
c <sub>v</sub>	objemová tepelná kapacita vzduchu	[J m <sup>-3</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
C <sub>ZP</sub>	součet cen za odebraný plyn	[Kč/kWh]
d	počet dnů otopného období	[dny]
D	počet denostupňů	[K·den]
d <sub>c</sub>	celkový počet dní otopného období	[1]
d <sub>n</sub>	prostá doba návratnosti	[rok]
d <sub>i</sub>	počet dní v měsíci s průměrnou teplotou t <sub>es,i</sub>	[1]
d <sub>kapalina</sub>	průměr kapalinového potrubí	[mm]
d <sub>sání</sub>	průměr sacího potrubí	[mm]
d <sub>výtlač</sub>	průměr výtlačného potrubí	[mm]
E <sub>CT</sub>	celková potřeba tepla na vytápění, předehřev a dohřev TV	[GJ/rok]
E <sub>dohřev,rok</sub>	potřeba tepla na dohřev teplé vody za rok	[J/rok]
EF <sub>CO2</sub>	emisní faktor CO <sub>2</sub> pro zemní plyn	[t/MWh]
EF <sub>NOx,TČ</sub>	emisní faktor NO <sub>x</sub> pro energetický mix ČR	[kg/GJ]
EF <sub>NOx,ZP</sub>	emisní faktor zemního plynu pro NO <sub>x</sub>	[kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]
E <sub>předehřev,rok</sub>	potřeba tepla na předehřev teplé vody za rok	[J/rok]
E <sub>T,J/rok</sub>	potřeba tepla k pokrytí tepelných ztrát objektu za rok	[J/rok]
f <sub>i</sub>	koeficient vyjadřující vliv nesoučasnosti výpočetních hodnot uvažovaných při výpočtu celkové tepelné ztráty objektu	[1]
g	gravitační zrychlení	[m·s <sup>-2</sup> ]
h	výška vodního sloupce nad expanzní nádobou	[m]
h <sub>1</sub>	entalpie páry na vstupu do kompresoru	[kJ/kg]
h <sub>2</sub>	skutečná hodnota entalpie páry po kompresi v kompresoru	[kJ/kg]
h <sub>2ie</sub>	teoretická hodnota entalpie páry po kompresi v kompresoru	[kJ/kg]

$h_3$	entalpie kapaliny na konci kondenzace, podchlazení v kondenzátoru	[kJ/kg]
$h_4$	entalpie mokré páry po expanzi na expanzním ventilu	[kJ/kg]
$i_{LV}$	součinitel spárové provzdušnosti	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> /m·Pa <sup>0,67</sup> ]
$k_c$	průměrný součinitel prostupu tepla všech konstrukcí místnosti	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
$k_j$	součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí	[W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Kontrola	kontrola správnosti výpočtu oběhu TČ	[kW]
$L$	délka spár otevíratelných částí oken a venkovních dveří	[m]
$l_i$	tloušťka vrstvy materiálu	[m]
$M$	charakteristické číslo místnosti	[1]
$\dot{m}$	hmotový tok chladiva	[kg/s]
$n$	počet osob	[1]
$n$	součinitel zvětšení objemu	[1]
$N$	počet pracovních dní soustavy	[dny]
$N_{BZ}$	náklady na provoz bivalentního zdroje	[Kč]
$N_{CN}$	celkové náklady na provoz za rok	[Kč]
$N_{DN}$	náklady na připojení TČ k otopné soustavě	[Kč]
$n_h$	intenzita výměny vzduchu	[h <sup>-1</sup> ]
$N_{IC}$	celkové investiční náklady	[Kč]
$N_{kompresor}$	náklady na provoz kompresoru v otopném/mimo otopné období	[Kč]
$N_{MOT}$	celkové provozní náklady mimo otopné období	[Kč]
$N_{OČ,topné}$	náklady na provoz oběhového čerpadla topné vody	[Kč]
$N_{OČ,TV}$	náklady na provoz oběhového čerpadla TV v otopném/mimo otopné období	[Kč]
$n_{OS}$	počet osob v domácnosti	[1]
$N_{OT}$	celkové náklady na provoz v otopném období	[Kč]
$NO_{x,TČ}$	množství emisí NO <sub>x</sub> vyprodukovaných provozem TČ za rok	[kg/rok]
$NO_{x,ZP}$	množství emisí NO <sub>x</sub> vyprodukovaných spalováním ZP	[kg/rok]
$N_{PCM}$	pevná cena elektřiny za měsíc	[Kč]
$N_{PP}$	měsíční poplatek za příkon podle jmenovité proudové hodnoty jističe	[Kč]
$N_{SMP}$	součet stálých měsíčních poplatků za plyn	[Kč]
$N_{TČ}$	náklady na připojení TČ ke zdroji tepla	[Kč]
$N_{ZP}$	náklady na vytápění a přípravu TV plynem	[Kč]
$p_0$	vypařovací tlak chladiva	[kPa]

$p_1$	přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	[1]
$p_2$	přirážka na urychlení zátoku	[1]
$P_3$	přirážka na světovou stranu	[1]
$p_b$	barometrický tlak	[Pa]
$p_d$	absolutní hydrostatický tlak v otopné soustavě	[Pa]
$P_{el,zásobník,TV}$	výkon elektrického topného tělesa	[kW]
$p_h$	hydrostatický tlak vyvozený sloupцем vody v soustavě	[Pa]
$p_{h,dov}$	nejvyšší dovolený absolutní tlak	[Pa]
$p_K$	kondenzační tlak chladiva	[kPa]
$P_K$	příkon kompresoru	[kW]
$P_{kompresoru}$	příkon kompresoru	[kW]
$P_{kompresoru,t}$	teoretický příkon kompresoru	[kW]
$P_{0\check{c}, topné}$	maximální příkon oběhového čerpadla topné vody	[kW]
$P_{0\check{c},TV}$	maximální příkon oběhového čerpadla TV	[kW]
$P_{předehřev}$	výkon nutný k předehřevu vody	[W]
$q_0$	hmotová chladivost	[kJ/kg]
$\dot{Q}_o$	základní tepelná ztráta místnosti	[W]
$\dot{Q}_{0,T\check{C}}$	chladicí výkon TČ	[kW]
$Q_{BZ}$	elektrická energie potřebná pro provoz bivalentního zdroje	[MWh]
$\dot{Q}_c$	celková tepelná ztráta místnosti	[W]
$\dot{Q}_{c,m^2}$	tepelná ztráta na 1 m <sup>2</sup> obytné plochy	[W/m <sup>2</sup> ]
$\dot{Q}_{C,RD}$	celková tepelná ztráta rodinného domu	[kW]
$\dot{Q}_{CT}$	celková potřeba tepla pro vytápění, předehřev a dohřev TV	[MWh/rok]
$Q_{dohřev}$	elektrická energie potřebná k pokrytí dohřevu TV	[MWh]
$\dot{Q}_{dohřev,den}$	teplo potřebné k dohřevu TV za den	[Wh/den]
$\dot{Q}_{dohřev,rok}$	teplo potřebné k dohřevu TV za rok	[Wh/rok]
$Q_{kompresor}$	elektrická energie potřebná pro provoz kompresoru TČ v otopném/mimo otopné období	[MWh]
$Q_{0\check{c}, topné}$	elektrická energie potřebná pro provoz oběhového čerpadla topné vody v otopném/mimo otopné období	[MWh]
$Q_{0\check{c}, TV}$	elektrická energie potřebná pro provoz oběhového čerpadla TV v otopném/mimo otopné období	[MWh]



$\dot{Q}_{\text{předehřev,den}}$	teplo potřebné k dohřevu TV za den	[Wh/den]
$\dot{Q}_{\text{předehřev,rok}}$	teplo potřebné k dohřevu TV za rok	[Wh/rok]
$\dot{Q}_p$	tepelná ztráta místnosti prostupem tepla	[W]
$Q_r$	celková spotřeba tepla	[kWh/rok]
$q_T$	skutečná hmotová topivost	[kJ/kg]
$\dot{Q}_T$	topný výkon TČ	[kW]
$q_{T,t}$	teoretická hmotová topivost	[kJ/kg]
$Q_{TUV,d}$	denní odběr tepla pro zásobování TUV	[kWh/den]
$Q_{TUV,r}$	roční odběr tepla pro zásobování TUV	[kWh/rok]
$\dot{Q}_{T,Wh/rok}$	potřeba tepla k pokrytí tepelných ztrát	[Wh/rok]
$\dot{Q}_v$	tepelná ztráta místnosti větráním	[W]
$Q_{VYT,r}$	roční spotřeba tepla	[kWh/rok]
$\dot{Q}_z$	trvalý tepelný zisk	[W]
$S_j$	plocha ochlazované části konstrukce	[m <sup>2</sup> ]
$S_p$	plocha podlahy	[m <sup>2</sup> ]
$S_{p,C}$	celková podlahová plocha všech místností	[m <sup>2</sup> ]
$t_1$	teplota studené vody	[°C, K]
$t_2$	teplota ohřáté vody	[°C, K]
$T_0$	teplota vypařování	[°C, K]
$T_{02}$	teplota páry na začátku kondenzace	[°C, K]
$T_{03}$	teplota kapaliny na konci kondenzace	[°C, K]
$T_2$	skutečná teplota páry po kompresi v kompresoru	[°C, K]
$T_{2ie}$	teoretická teplota páry po kompresi v kompresoru	[°C, K]
$T_4$	teplota mokré páry po expanzi na expanzním ventilu	[°C, K]
$t_e$	venkovní (vnější) výpočtová teplota	[°C, K]
$t_{em}$	mezní teplota topného období	[°C, K]
$t_{e,N}$	nejnižší venkovní výpočtová teplota	[°C, K]
$t_{es}$	průměrná teplota topného období	[°C, K]
$t_{es,i}$	průměrná venkovní teplota v měsíci	[°C, K]
$t_i$	vnitřní výpočtová teplota	[°C, K]
$t_{ip}$	průměrná teplota v objektu vztažená na obytnou plochu	[°C, K]
$t_{is}$	průměrná vnitřní teplota	[°C, K]

$T_k$	kondenzační teplota	[°C, K]
$t_p$	požadovaná teploty TV	[°C, K]
$t_p$	požadovaná teploty TV	[°C, K]
$t_{stř,dohřev}$	střední teplota dohřívání TV	[°C, K]
$t_{stř,OS}$	střední teplota topné vody	[°C, K]
$t_{stř,TV}$	střední teplota přehřáté vody zásobníku TV	[°C, K]
$t_{stř,zásobník,TV}$	Střední teplota vody v zásobníku TV	[°C, K]
$t_{sv1}$	teplota studené vody v létě	[°C, K]
$t_{sv2}$	teplota studené vody v zimě	[°C, K]
$t_{v,1}$	teplota přehřáté TV pomocí TČ	[°C, K]
$t_{v,2}$	původní teplota vody na vstupu do zásobníku	[°C, K]
$t_{V,topná}$	teplota topné vody	[°C, K]
$t_{V,vratná}$	teplota vratné vody	[°C, K]
$t_{vzduch,1}$	vstupní teplota vzduchu	[°C, K]
$t_{vzduch,2}$	výstupní teplota vzduchu	[°C, K]
$U_r$	roční úspory	[Kč]
$V_{2p}$	celková potřeba teplé vody za 1 den	[ m <sup>3</sup> /den ]
$V_{en}$	výpočtový objem expanzní nádoby	[ l ]
$\dot{V}_{kapalina}$	objemový tok chladiva v kapalinovém potrubí	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$V_m$	vnitřní objem prostoru (místnosti)	[m <sup>3</sup> ]
$V_o$	objem vody v celé otopné soustavě	[ l ]
$\dot{V}_{OC}$	potřebný objemový průtok topné vody	[m <sup>3</sup> /h]
$V_{OS,D}$	množství vody na osobu a den	[m <sup>3</sup> /(osobu·den)]
$\dot{V}_{sání}$	objemový tok chladiva v sání kompresoru	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$V_{TV}$	potřebný objem TV za rok	[m <sup>3</sup> ]
$V_{TV,D}$	potřebný objem TV za den	[m <sup>3</sup> ]
$\dot{V}_{vH}$	potřebný průtok větracího vzduchu	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$\dot{V}_{vP}$	potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$\dot{V}_{výtlak}$	objemový tok chladiva na výtlaku kompresoru	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$V_{Zásobník,TV}$	objem zvoleného zásobníku	[m <sup>3</sup> ]
$V_{ZP}$	množství spáleného zemního plynu	[m <sup>3</sup> ]
$w_{kapalina}$	doporučená/volená rychlost chladiva v kapalinovém potrubí	[m·s <sup>-1</sup> ]

$w_{\text{sání}}$	doporučená/volená rychlost chladiva v sacím potrubí	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
$w_{\text{výtlak}}$	doporučená/volená rychlost chladiva ve výtlačném potrubí	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
$z$	koeficient energetických ztrát	[1]
$\alpha_1$	součinitel přestupu tepla vnitřního prostředí	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$
$\alpha_2$	součinitel přestupu tepla vnitřního prostředí	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$
$\Delta T_k$	podchlazení v kondenzátoru	$[\text{°C}, \text{K}]$
$\Delta T_v$	přehřátí ve výparníku	$[\text{°C}, \text{K}]$
$\varepsilon_0$	chladicí faktor	[1]
$\varepsilon_T$	topný faktor	[1]
$\varepsilon_{T,t}$	teoretický topný faktor	[1]
$\eta$	stupeň využití expanzní nádoby	[1]
$\eta_{\text{kotle}}$	účinnost kotle	[1]
$\lambda_i$	součinitel tepelné vodivosti materiálu	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$
$v$	směrná hodnota vodního obsahu otopné soustavy	$[\text{l}/\text{kW}]$
$\pi$	ludolfovo číslo	[1]
$\rho$	hustota vratné topné vody	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
$\rho_v$	hustota vody	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
$\rho_{\text{kapalina}}$	hustota kapaliny na výstupu z kondenzátoru	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
$\rho_{\text{OS}}$	hustota vody v otopné soustavě	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
$\rho_{\text{sání}}$	hustota par v sání kompresoru	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
$\rho_{\text{TV}}$	hustota TV	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
$\rho_{\text{TV,dohřev}}$	hustota TV pro střední teplotu při dohřevu	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
$\rho_{\text{výtlak}}$	hustota par na výtlačku kompresoru	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
$\rho_{\text{zásobník,TV}}$	hustota TV v zásobníku pro střední teplotu vody v zásobníku	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
$\sum(i_{LV} \cdot L)$	součet průvzdušnosti oken a venkovních dveří dané místnosti	$[\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-0,67}]$
$\sum \dot{Q}_{C,i}$	součtu tepelných ztrát jednotlivých místností	[kW]
$\sum S$	celková plocha všech konstrukcí ohraničujících vytápěnou místnost	$[\text{m}^2]$
$\sum S_{p,i}$	součtem podlahových ploch jednotlivých místností	$[\text{m}^2]$
$\sigma$	kompresní poměr	[1]
$\tau$	doba potřebná pro přehřev vody	[h]



$\tau_C$	doba potřebná k ohřevu TV z průměrné teploty na vstupu do zásobníku na požadovanou teplotu pomocí elektrického topného tělesa	[h]
$\tau_h$	doba potřebná k pokrytí tepelných ztrát objektu a k předehřevu TV	[h]
$\tau_L$	doba potřebná k ohřevu TV z průměrné teploty na vstupu do zásobníku na požadovanou teplotu pomocí celého topného výkonu TČ	[h]
$\varphi$	čerpací poměr	[1]

### **Zkratky**

ANE	akumulační nádrž s elektrokotlem
HDO	dálkové přepínání tarifů
NT	nízký tarif účtování elektřiny
TČ	tepelné čerpadlo
TV	teplá voda
VT	vysoký tarif účtování elektřiny

# 1. Úvod

Vzhledem k růstu celosvětové populace obyvatelstva, růstu jejich materiálních požadavků a potřeb dochází k postupnému a nezadržitelnému vyčerpávání relativně dostupných a levných přírodních zdrojů surovin. To pak způsobuje stále narůstající výrobou, spotřebou energie a vede k zamyšlení nad budoucím zajištěním energetických potřeb.

Jedním z řešení, jak dosáhnout pokrytí energetických potřeb, je minimalizovat negativní dopady na životní prostředí a snížit závislost na fosilních zdrojích. V tomto případě znamená použití méně energeticky náročných technologií a procesů ve výrobě. V neposlední řadě je třeba věnovat velkou pozornost obnovitelným zdrojům, k nimž patří energie vody, slunce, větru, biomasy, geotermální energie a nízkopotenciální teplo.

S příchodem nových materiálů, zateplovacích technologií, úspornějších systému hospodaření s teplem a především nástupem nízkoenergetických staveb dnes potřebují budovy ke svému provozu mnohem méně tepla než v minulosti. Technologie současných tepelných čerpadel zůstává od počátku jejich objevu téměř stejná.

Tepelné čerpadlo patří mezi alternativní zdroje energie, které dokáží využívat obnovitelnou energii obsaženou v zemi, vodě nebo vzduchu. Díky tomu tepelné čerpadlo při svém provozu zatěžuje přírodu podstatně méně, než kotle na plyn, elektřinu, olej nebo uhlí. Výhody tepelných čerpadel nejsou jen ekologické, ale důvodem pro pořízení tepelného čerpadla je úspora nákladů na vytápění. V porovnání z ostatními zdroji mají tepelná čerpadla velmi nízkou spotřebu energie a šetří nám i finanční prostředky. Ceny za systémy tepelných čerpadel se odvíjí od značky společnosti, která Vám instalaci čerpadla provede. Konstrukce tepelných čerpadel je dlouhodobě vyzkoušená a neustále se po technické stránce vylepšuje a to vede k prodloužení životnosti, zvýšení účinnosti a odhlučnění.

Tato diplomová práce se bude věnovat konstrukčnímu návrhu tepelného čerpadla pro vytápění a přípravu teplé vody rodinného domu na vybrané dané lokalitě. V první části je zaměřena výpočtem tepelných ztrát budovy, spotřebou tepla na vytápění, teoretická východiska, principy fungování tepelných čerpadel a jejich základní rozdělení. V druhé části se budu zabývat volbou jednotlivých dílů tepelného čerpadla. V závěru práce je provedeno ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení, environmentální přínosy použití této technologie, návratnost, investice a uvedená výkresová dokumentace.

## 2. Popis rodinného domu

Rodinný dům se nachází v obci Stránčice východně od Prahy. Objekt leží v nadmořské výšce 415 m n. m., zeměpisná šířka je 49° 56' 56'' s. š. Jedná se o rodinný dům s dvěma nadzemními podlažími s tesařsky sbíjeným krovem sedlové střechy. Půdorysný tvar objektu je pravidelný, sestávající se ze dvou obdélníků. Vstup do objektu je řešen ze severní strany. Vnější stěny objektu tvoří obvodová konstrukce z tvárníc YTONG, zateplené fasádním polystyrénem s povrchovou úpravou natahované šlechtěné omítky.

Obytné místnosti jsou vytápěny podlahovým vytápěním. V současné době jako zdroj tepla je využíván plynový kotel, kde bude doplněn tepelným čerpadlem vzduch – voda. Alternativním zdrojem tepla je použita akumulární nádrž s elektrokotlem, která slouží jako doplňkový (bivalentní) zdroj vytápěcího systému. Tepelné čerpadlo bude zapojeno do stávajícího systému. Dům obývá čtyřčlenná rodina. Podrobnější údaje rodinného domu – viz. příloha č. 1.

## 3. Výpočet tepelných ztrát objektu

Výpočet tepelných ztrát objektu jsem provedl podle normy ČSN 06 0210, ČSN 73 0540 – 3:1994 a z projektové dokumentace rodinného domu[9], [10].

### 3.1. Potřebné hodnoty k výpočtu

Hodnoty potřebné k výpočtu tepelných ztrát objektu jsou použil z normy ČSN 060210, kde jsem určil výpočtovou venkovní teplotu  $t_e = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$  a výpočtové vnitřní teploty. Potřebné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.1.1.

Číslo místnosti	Účel	Výpočtová vnitřní teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]
1.01	Zádveří	15
1.02	Garáž	10
1.03	Chodba	15
1.04	Schodiště	15
1.05	Sklad	15
1.06	Koupelna + WC	24



1.07	Spíž	15
1.08	Kuchyně	20
1.09	Obývací pokoj	20
1.10	Pracovna	20
2.01	Chodba	15
2.02	Schodiště	15
2.03	Koupelna + WC	24
2.04	Pokoj 1	20
2.05	Pokoj 2	20
2.06	Ložnice	20
2.07	Pracovna	20

**Tabulka 3.1.1. Potřebné hodnoty k výpočtu**

### **3.2. Příklad výpočtu tepelné ztráty místnosti č. 1.09 – obývací pokoj**

#### **3.2.1. Výpočet součinitele prostupu tepla**

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}] \quad (3.1)$$

kde  $k$  – součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí  $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$

$l_i$  – tloušťka vrstvy materiálu  $[\text{m}]$

$\lambda_i$  – součinitel tepelné vodivosti materiálu  $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$

$\alpha_1$  – součinitel přestupu tepla vnitřního prostředí  $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$

$\alpha_2$  – součinitel přestupu tepla vnějšího prostředí  $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$

*Poznámka:* Součinitel přestupu tepla  $\alpha_1$  na vnitřním povrchu stěny má hodnotu  $8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ .  
Součinitel přestupu tepla  $\alpha_2$  na vnější stěny má hodnotu  $23 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ .

Po dosazení hodnot dostanu pro obvodovou stěnu – vnitřní omítka:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{0,365}{0,096} + \frac{0,01}{0,8} + \frac{0,120}{0,038} + \frac{0,01}{0,8} + \frac{0,01}{0,8} + \frac{1}{23}} = 0,1393 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$$

Stejný postup výpočtu je použit u dalších stavebních konstrukcí. Hodnoty součinitele prostupu tepla dalších stavebních konstrukcí a prvků dané místnosti uvedeny v následující tabulce 3.2.1.

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla $k_j$ [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]
Podlaha	0,32189
Sokl	0,2448
Obvodové stěny - vnitřní omítka	0,13927
Francouzské okno	1,2
Okno dvojité	1,2

**Tabulka 3.2.1. Hodnoty součinitele prostupu tepla pro jednotlivé stavební konstrukce a prvky**

### 3.2.2. Výpočet základní tepelné ztráty

$$\dot{Q}_o = \sum_{j=1}^n k_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_e) \quad [\text{W}] \quad (3.2)$$

kde  $S_j$  – plocha ochlazované části konstrukce [ $\text{m}^2$ ]  
 $k_j$  – součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]  
 $t_i$  – vnitřní výpočtová teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 $t_e$  – vnější výpočtová teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Hodnoty ploch jednotlivých stavebních konstrukcí a prvků uvedeny v následující tabulce:

Typ konstrukce	Plocha $S_j$ [ $\text{m}^2$ ]
Podlaha	27,9

Sokl	3,11
Obvodové stěny - vnitřní omítka	30,394
Francouzské okno	4,5
Okno dvojitě	2,1875

**Tabulka 3.2.2. Plochy jednotlivých stavebních konstrukcí a prvků**

Po dosazení:

$$\dot{Q}_o = (0,32189 \cdot 27,9 + 0,2448 \cdot 3,11 + 0,13927 \cdot 30,394 + 1,2 \cdot 4,5 + 1,2 \cdot 2,1875) \cdot (20 - (-15)) = 770 \text{ W}$$

### 3.2.3. Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla

$$k_c = \frac{\dot{Q}_o}{\sum S \cdot (t_i - t_e)} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (3.3)$$

kde  $\sum S$  – celková plocha všech konstrukcí ohraničujících vytápěnou místnost [ $\text{m}^2$ ]

$\dot{Q}_o$  – základní tepelná ztráta prostupem tepla [W]

$t_i$  – vnitřní výpočtová teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_e$  – vnější výpočtová teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Po dosazení:

$$k_c = \frac{770}{(27,9 + 3,11 + 30,394 + 4,5 + 2,1875) \cdot (20 - (-15))} = 0,3231 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

### 3.2.4. Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí

$$p_1 = 0,15 \cdot k_c = 0,15 \cdot 0,3231 = 0,0485 \quad [1] \quad (3.4)$$

kde  $p_1$  – přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí [1]

### 3.2.5. Výpočet tepelné ztráty prostupem tepla

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \quad [\text{W}] \quad (3.5)$$

kde  $\dot{Q}_o$  – základní tepelná ztráta prostupem tepla [W]

$p_1$  – přírážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí [1]

$p_2$  – přírážka na urychlení zátoku (neuvažována – předpokládám nepřerušovaný provoz vytápění při výpočtových podmínkách) [1]

$p_3$  – přírážka na světovou stranu [1]

Přírážka na světovou stranu určím z tabulky:

Světová strana	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
$p_3$ [1]	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

**Tabulka 3.2.5. Přírážka na světovou stranu**

*Poznámka:* Místnost se nachází na jihovýchodě, proto je přírážka  $p_3 = 0$ .

Po dosazení:

$$\dot{Q}_p = 770 \cdot (1 + 0,0485 + 0 + 0) = 807,315 \text{ W}$$

### 3.2.6 Výpočet tepelné ztráty větráním

**Potřebný průtok větracího vzduchu  $\dot{V}_{vH}$**

$$\dot{V}_{vH} = \frac{n_h}{3600} \cdot V_m = \frac{0,5}{3600} \cdot 72,54 = 0,01008 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (3.6)$$

kde  $V_m$  – vnitřní objem prostoru (místnosti) [m<sup>3</sup>]

$n_h$  – intenzita výměny vzduchu, volím podle hygienických požadavků 0,5 h<sup>-1</sup> [h<sup>-1</sup>]

**Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací  $\dot{V}_{vP}$**

$$\dot{V}_{vP} = \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3.7)$$

kde  $\sum (i_{LV} \cdot L)$  – součet průvzdušnosti oken a venkovních dveří dané místnosti

$$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}]$$

$i_{LV}$  – součinitel spárové průvzdušnosti

$$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / \text{m} \cdot \text{Pa}^{0,67}]$$

$L$  – délka spár otevíratelných částí oken a venkovních dveří

$$[\text{m}]$$

$B$  – charakteristické číslo budovy

$$[\text{Pa}^{0,67}]$$

$M$  – charakteristické číslo místnosti

$$[1]$$

Součinitel spárové průvzdušnosti oken a dveří:

$$i_{LV} = 12 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / \text{m} \cdot \text{Pa}^{0,67}$$

Délka spár otevíratelných částí oken a venkovních dveří:

$$L = 14,5 \text{ m}$$

Budova stojí osaměle a nachází se v normální, nechráněné krajině, a proto podle normy volím charakteristické číslo budovy :

$$B = 8 \text{ Pa}^{0,67}$$

Charakteristické číslo místnosti volím podle normy:

$$M = 0,7 [1]$$

Do dosažení:

$$\dot{V}_{vP} = \sum (0,00012 \cdot 14,5) \cdot 8 \cdot 0,7 = 0,009744 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

**Tepelné ztráty větráním**

$$\dot{Q}_v = 1300 \cdot \dot{V}_{vH} \cdot (t_i - t_e) = 1300 \cdot 0,01008 \cdot (20 - (-15)) = 458,413 \text{ W} \quad (3.8)$$

kde  $c_v$  – objemová tepelná kapacita vzduchu při teplotě 0°C  $[\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}]$

Do vzorce (3.8) tepelné ztráty větráním dosadím za hodnotu  $\dot{V}_{vP}$  hodnotu  $\dot{V}_{vH}$ , protože

$$\dot{V}_{vH} = 0,01008 > \dot{V}_{vP} = 0,00974.$$



### 3.3. Výpočet celkové tepelné ztráty

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_p + \dot{Q}_v - \dot{Q}_z = 807,315 + 458,413 = 1265,73 \text{ W} \quad (3.9)$$

kde  $\dot{Q}_p$  – tepelná ztráta prostupem tepla

$\dot{Q}_v$  – tepelná ztráta větráním

$\dot{Q}_z$  – trvalý tepelný zisk

Zbývající místnosti jsou spočítány stejným způsobem jako obývací pokoj. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce 3.3.3.

Číslo místnosti	Účel	$S_p[m^2]$	$Q_o[W]$	$Q_p[W]$	$Q_v[W]$	$Q_c[W]$
1.01	Zádveří	6,85	191,7885	201,4966	159,8688	361,3654
1.02	Garáž	18,98	434,559	477,528	691,6	1169,13
1.03	Chodba	8,36	153,8	167,43	117,74	285,16
1.04	Schodiště	6,16	104,2242	113,4796	86,75333	200,233
1.05	Sklad	5,26	89,71624	97,66258	74,07833	171,7409
1.06	Koupelna + WC	5,83	156,019	178,551	129,468	308,018
1.07	Spíž	3,99	62,5573	70,8879	56,1925	127,08
1.08	Kuchyně	9,18	242,035	276,422	152,88	429,302
1.09	Obývací pokoj	27,9	769,998	807,315	458,413	1265,73
1.10	Pracovna	12,83	331,7169	327,6541	210,804	538,4581
<b>Celková tepelná ztráta 1.NP <math>Q_{c,1.NP} [W]</math></b>						<b>4856,2174</b>

Číslo místnosti	Účel	$S_p[m^2]$	$Q_o[W]$	$Q_p[W]$	$Q_v[W]$	$Q_c[W]$
2.01	Chodba	8,36	139,871	151,616	156,63	308,245
2.02	Schodiště	6,16	94,4508	102,509	98,4445	200,953
2.03	Koupelna + WC	13,16	241,151	261,376	170,469	431,844

2.04	Pokoj 1	20,48	325,085	354,221	272,738	626,959
2.05	Pokoj 2	20,40	322,361	351,295	272,738	624,033
2.06	Ložnice	18,98	277,464	287,272	184,755	472,027
2.07	Pracovna	12,83	197,565	194,618	151,519	346,136
<b>Celková tepelná ztráta 2.NP <math>\dot{Q}_{c,2,NP}</math> [W]</b>						<b>3010,197</b>

**Tabulka 3.3.3. Vypočtené tepelné ztráty jednotlivých podlaží**

kde $S_p$ – plocha podlahy	$[m^2]$
$\dot{Q}_o$ – základní tepelné ztráty místnosti	$[W]$
$\dot{Q}_p$ – tepelná ztráta prostupem tepla	$[W]$
$\dot{Q}_v$ – tepelná ztráta větráním	$[W]$
$\dot{Q}_c$ – celková tepelná ztráta	$[W]$

Celková tepelná ztráta rodinného domu je po součtu tepelných ztrát jednotlivých místností:

$$\dot{Q}_{c, RD} = \sum \dot{Q}_{c,i} = 7,866 \text{ kW} \doteq 7,9 \text{ kW} \quad (3.10)$$

Tepelná ztráta na 1  $m^2$  obytné plochy:

$$\dot{Q}_{c, m^2} = \frac{\dot{Q}_{c, RD}}{S_{p, C}} \quad [W/m^2] \quad (3.11)$$

kde  $S_{p, C}$  – celková podlahová plocha všech místností  $[m^2]$

Celková podlahová plocha všech místností rodinného domu je dáno součtem podlahových ploch jednotlivých místností:

$$S_{p, C} = \sum S_{p,i} = 205,71 \text{ m}^2 \quad (3.12)$$

Po dosazení do (3.3.6.):

$$\dot{Q}_{c, m^2} = \frac{7900}{205,71} = 38,4 \text{ W/m}^2$$

## 4. Spotřeba tepla na vytápění

Výpočet spotřeby tepla v objektu na vytápění při nepřerušovaném provozu budu počítat dvě způsoby. První způsob budu počítat pomocí denostupňovou metodou podle ČSN 38 3350 [11] a literatury[7], [8]. Druhý způsob výpočtu na základě průměrných teplot v otopném období dané lokalitě.

### 4.1. Vstupní klimatologická data

Místo:	obec Stránčice východně od Prahy
Nadmořská výška:	415 m n. m.
Nejnižší venkovní výpočtová teplota:	$t_{e,N} = -15\text{ °C}$
Průměrná teplota topného období:	$t_{es} = 4,3\text{ °C}$
Mezní teplota topného období:	$t_{em} = 13\text{ °C}$
Počet dnů otopného období:	225 dnů

### 4.2. Výpočet denostupňovou metodou

Počet denostupňů se určuje z časového období - týden, měsíc nebo rok. Podle způsobu zjištění průměrných venkovních teplot rozlišujeme denostupně meteorologické a klimatické, stanovené z dlouhodobých průměrů teplot. Pomocí vzorce určíme počet klimatických denostupňů.

Pomocí vzorce určíme počet klimatických denostupňů:

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad [\text{K} \cdot \text{den}] \quad (4.1)$$

kde  $d$  – počet dnů otopného období [dny]

$t_{is}$  – průměrná vnitřní teplota [°C]

$t_{es}$  – Průměrná venkovní teplota topného období [°C]

Dále počítám s těmito hodnotami:

Průměrná teplota v interiéru  $t_{is} = 19\text{ °C}$

Průměrná teplota topného období  $t_{es} = 4,3\text{ °C}$

Po dosazení:

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 225 \cdot (19 - 4,3) = 3307,5\text{ K·den}$$

#### 4.2.1. Roční spotřeba tepla

$$Q_{VYT,r} = 24 \cdot Q_c \cdot f_1 \cdot \frac{D}{t_{is} - t_e} \quad [\text{kWh/rok}] \quad (4.2)$$

kde  $Q_c$  – celková tepelná ztráta objektu [W]

$f_1$  – koeficient vyjadřující vliv nesoučasnosti výpočetních hodnot uvažovaných při výpočtu celkové tepelné ztráty objektu [1]

$D$  – počet denostupňů [K·den]

$t_{is}$  – průměrná vnitřní teplota [°C]

$t_e$  – výpočtová (nejnižší) venkovní teplota [°C]

Volbu koeficientu nesoučasnosti, jsem provedl z literatury:

$$f_1 = 0,75$$

Po dosazení:

$$Q_{VYT,r} = 24 \cdot 7900 \cdot 0,75 \cdot \frac{3307,5}{19 - (-15)} = 13833,13\text{ kWh/rok}$$

#### 4.2.2. Spotřeba tepla k přípravě TUV (teplá užitková voda)

Výpočet spotřeby tepla k přípravě TUV jsem provedl dle ČSN 06 0320[12] a literatury [7].

Denní odběr tepla pro zásobování TUV

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad [\text{kWh/den}] \quad (4.3)$$

kde  $z$  – koeficient energetických ztrát [1]  
 $\rho$  – hustota vody [kg/m<sup>3</sup>]  
 $c$  – měrná tepelná kapacita vody [J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>]  
 $V_{2p}$  – celková potřeba teplé vody za 1 den [m<sup>3</sup>/den]  
 $t_1$  – teplota studené vody [°C]  
 $t_2$  – teplota ohřáté vody [°C]

Dále počítám s těmito hodnotami:

$$\begin{aligned} z &= 0,5 [1] & c &= 4183 [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \\ \rho &= 1000 [\text{kg/m}^3] & t_2 &= 55 [^\circ\text{C}] \\ t_1 &= 10 [^\circ\text{C}] \end{aligned}$$

Potřeba teplé vody na den

$$V_{2p} = n \cdot 0,082 \quad [\text{m}^3/\text{den}] \quad (4.4)$$

kde  $n$  – počet osob [ 1 ]

Po dosazení:

$$V_{2p} = 4 \cdot 0,082 = 0,328 \text{ m}^3/\text{den}$$

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4183 \cdot 0,328 \cdot (55 - 10)}{3600}$$

$$Q_{TUV,d} = 25,725 \text{ kWh/den}$$



### 4.2.3. Roční odběr tepla pro zásobování TUV

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) \quad [\text{kWh/rok}] \quad (4.5)$$

kde  $d$  – počet dnů otopného období [dny]

$t_2$  – teplota ohřáté vody [°C]

$t_{svl}$  – teplota studené vody v létě [°C]

$t_{svz}$  – teplota studené vody v zimě [°C]

$N$  – počet pracovních dní soustavy [dny]

Dále počítám s těmito hodnotami:

$$t_{svl} = 15^\circ\text{C} \quad N = 365 \text{ dní}$$

$$t_{svz} = 5^\circ\text{C} \quad d = 225 \text{ dní}$$

Po dosazení:

$$Q_{TUV,r} = 25,725 \cdot 225 + 0,8 \cdot 25,725 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot (365 - 225) = 8093,085 \text{ kWh/rok}$$

### 4.2.4. Celková spotřeba tepla

Celková spotřeba tepla se vypočítá jako součet spotřeby tepla na vytápění a spotřeby tepla na ohřev TUV.

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} \quad [\text{kWh/rok}] \quad (4.6)$$

Po dosazení:

$$Q_r = 13833,13 + 8093,085 = 21926,215 \text{ kWh/rok} = 21,93 \text{ MWh/rok}$$

$$E_{TI} = 3600 \cdot 21,93 = 78948 \text{ MJ} = 78,95 \text{ GJ}$$

### 4.3. Roční spotřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát rodinného domu

Roční spotřebu tepla určím na základě průměrných teplot v otopném období

Měsíc [1]	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
d [1]	5	31	30	31	31	28	31	30	8
t <sub>es</sub> [°C]	13,8	8,9	3,2	-0,7	-1,7	0,2	3,6	8,4	13,2

**Tabulka 4.3.1. Průměrná teplota v otopném období**

Výpočet potřeby tepla:

$$\dot{Q}_{T,Wh/rok} = \sum \dot{Q}_{C,RD} \cdot d_i \cdot 24 \cdot \frac{(t_{ip} - t_{es,i})}{(t_{ip} - t_e)} \quad [\text{Wh/rok}] \quad (4.7)$$

$$E_{T,J/rok} = 3600 \cdot \dot{Q}_{T,Wh/rok} \quad [\text{J/rok}] \quad (4.8)$$

kde  $\dot{Q}_{C,RD}$  – tepelná ztráta rodinného domu [W]

$d_i$  – počet dní v měsíci s průměrnou teplotou  $t_{es,i}$  [1]

$t_{ip}$  – průměrná teplota v objektu vztažená na obytnou plochu [°C]

$t_{es,i}$  – průměrná venkovní teplota v měsíci [°C]

$t_e$  – vnější výpočtová teplota [°C]

Celkový počet dní otopného období:

$$d_c = \sum d_i = 225 [1] \quad (4.9)$$

Měsíc [1]	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Q <sub>Ti</sub> [MWh]	0,145	1,746	2,643	3,405	3,578	2,935	2,662	1,773	0,259
E <sub>Ti</sub> [GJ]	0,522	6,285	9,516	12,26	12,882	10,568	9,584	6,384	0,931

**Tabulka 4.3.2. Potřeba tepla pro pokrytí tepelných ztrát v jednotlivých měsících**

Výpočet pro leden

$$\dot{Q}_{T,leden,Wh} = 7900 \cdot 31 \cdot 24 \cdot \frac{(19 - (-1,7))}{(19 - (-15))} = 3578421,176 \text{ Wh} = 3,578 \text{ MWh}$$

$$E_{T, \text{leden}, J} = 3600 \cdot \dot{Q}_{T, \text{leden}, Wh} = 3600 \cdot 3578421,176 = 1,2882 \cdot 10^{10} J = 12,882 GJ$$

Výpočet potřeby tepla na vytápění

$$\dot{Q}_{T, Wh / rok} = \sum \dot{Q}_{Ti, Wh} = 19147927,06 Wh / rok = 19,15 MWh / rok$$

$$E_{T, J / rok} = 3600 \cdot 19147927,06 = 68932537412 J = 68,93 GJ$$

V rodinném domě je instalováno podlahové vytápění pracující s teplotou topné vody  $t_{V, \text{topná}} = 41^\circ\text{C}$  a teplotou vratné vody  $t_{V, \text{vratná}} = 35^\circ\text{C}$ .

#### 4.3.1. Potřeba tepla na přípravu teplé vody (TV)

Teplá voda bude připravována v zásobníku TV předehřevem pomocí tepelného čerpadla (TČ). V zásobníku se pak dohřeje na požadovanou teplotu  $t_p$  pomocí elektrického topného tělesa.

Požadovaná teplota TV:

$$t_p = 55^\circ\text{C}$$

#### 4.3.2. Potřeba tepla pro předehřev TV

Množství tepla potřebného pro předehřev vody pomocí TČ určím podle

$$E_{\text{předehřev}, \text{rok}} = V_{TV} \cdot \rho_{TV} \cdot c_{p, TV} \cdot (t_{V,1} - t_{V,2}) \quad [\text{J/rok}] \quad (4.10)$$

$$\dot{Q}_{\text{předehřev}, \text{rok}} = \frac{E_{\text{předehřev}, \text{rok}}}{3600} \quad [\text{Wh/rok}] \quad (4.11)$$

$$\dot{Q}_{\text{předehřev}, \text{den}} = \frac{\dot{Q}_{TV, Wh / rok}}{365} \quad [\text{Wh/den}] \quad (4.12)$$

$$P_{\text{předehřev}} = \frac{V_{TV} \cdot \rho_{TV} \cdot c_{p, TV} \cdot (t_{V,1} - t_{V,2})}{\tau} \quad [\text{W}] \quad (4.13)$$

kde  $V_{TV}$  – potřebný objem TV za rok [m<sup>3</sup>]

$V_{TV, D}$  – potřebný objem TV za den [m<sup>3</sup>]

$\rho_{TV}$ – hustota TV	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
$c_{p,TV}$ – měrná tepelná kapacita TV	$[\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$
$t_{v,1}$ – teplota předehřáté TV pomocí TČ	$[^{\circ}\text{C}]$
$t_{v,2}$ – původní teplota vody na vstupu do zásobníku	$[^{\circ}\text{C}]$
$\tau$ – doba potřebná pro předehřev vody	$[\text{h}]$

Hodnota  $P_{\text{předehřev}}$  definuje část výkonu TČ, která je potřeba k předehřevu vody (TV) a nebude se podílet na pokrytí tepelných ztrát rodinného domu.

TČ bude předehřívát vodu v zásobníku na teplotu  $t_{v,1}$ :

$$t_{v,1} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Průměrná teplota vody na vstupu do zásobníku:

$$t_{v,2} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Hustota vody  $\rho_{TV}$  je určena pomocí EES pro střední teplotu  $t_{\text{stř},TV}$ :

$$t_{\text{stř},TV} = \frac{(t_{v,1} + t_{v,2})}{2} = \frac{(35 + 10)}{2} = 22,5\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (4.14)$$

hustota vody  $\rho_{TV} = 998\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Měrná tepelná kapacita vody je určena pro střední teplotu pomocí EES:

$$c_{p,TV} = 4183\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

Dobu potřebnou pro předehřátí potřebného objemu vody  $\tau$  volím:

$$\tau = 6\text{ h}$$

Potřebný objem TV určím na základě počtu osob v domě a předpokládané spotřeby teplé vody na osobu a den  $V_{OS,D}$ :

$$V_{TV} = 365 \cdot n_{OS} \cdot V_{OS,D} \quad [\text{m}^3/\text{rok}] \quad (4.15)$$

$$V_{TV,D} = n_{OS} \cdot V_{OS,D} \quad [\text{m}^3/\text{den}] \quad (4.16)$$

kde 365 – počet dní v roce [1]

$n_{OS}$  – počet osob v domácnosti [1]

$V_{OS,D}$  – množství vody na osobu a den [ $\text{m}^3/(\text{osobu} \cdot \text{den})$ ]

V domě žijí čtyři lidé:

$$n_{OS} = 4 \quad [1]$$

Výpočet potřebného objemu TV – dosazení do (3.15) a (3.16):

$$V_{TV} = 365 \cdot 4 \cdot 0,082 = 119,72 \text{ m}^3/\text{rok}$$

$$V_{TV,D} = 4 \cdot 0,082 = 0,328 \text{ m}^3/\text{den}$$

Množství energie potřebné pro předehřev vody pomocí TČ – dosazení do (4.10), (4.11), (4.12) a (4.13) :

$$E_{\text{předehřev,rok}} = 119,72 \cdot 998 \cdot 4183 \cdot (35 - 10) = 1,25 \cdot 10^{10} \text{ J / rok} = 12,5 \text{ GJ / rok}$$

$$\dot{Q}_{\text{předehřev,rok}} = \frac{1,25 \cdot 10^{10}}{3600} = 3470744,323 \text{ Wh / rok} = 3,471 \text{ MWh / rok}$$

$$\dot{Q}_{\text{předehřev,den}} = \frac{3470744,323}{365} = 9508,89 \text{ Wh / den}$$

$$P_{\text{předehřev}} = \frac{0,328 \cdot 998 \cdot 4183 \cdot (35 - 10)}{6 \cdot 3600} = 1584,815 \text{ W}$$

### 4.3.3. Potřeba tepla pro dohřev TV

Teplo potřebné pro dohřev TV určím podle vzorců:

$$\dot{Q}_{\text{dohřev,den}} = \frac{V_{TV,D} \cdot \rho_{TV,dohrev} \cdot c_{p,dohrev} \cdot (t_P - t_{V,1})}{3600} \quad [\text{Wh/den}] \quad (4.17)$$

$$\dot{Q}_{\text{dohřev,rok}} = 365 \cdot \dot{Q}_{\text{dohřev,den}} \quad [\text{Wh/rok}] \quad (4.18)$$



$$E_{\text{dohřev,rok}} = 3600 \cdot \dot{Q}_{\text{dohřev,rok}} \quad [\text{J/rok}] \quad (4.19)$$

kde:  $\rho_{TV,\text{dohřev}}$  – hustota TV pro střední teplotu při dohřevu  $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$

$c_{p,\text{dohřev}}$  – měrná tepelná kapacita TV při dohřevu  $[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$

$t_p$  – požadovaná teploty TV  $[\text{°C}]$

Požadovaná teplota TV:

$$t_p = 55 \text{ °C}$$

Střední teplota při dohřevu:

$$t_{\text{stř,dohřev}} = \frac{(t_p + t_{V,1})}{2} = \frac{(55 + 35)}{2} = 45 \text{ °C} \quad (4.20)$$

Hustota vody  $\rho_{TV,\text{dohřev}}$  určena pomocí EES prostřední teplotu  $t_{\text{stř,dohřev}}$  :

$$\rho_{TV,\text{dohřev}} = 990 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

Měrná tepelná kapacita vody určena pro střední teplotu pomocí EES:

$$c_{p,\text{dohřev}} = 4182 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

Výpočet tepla potřebného pro dohřev TV – dosazení do (4.17), (4.18), (4.19):

$$\dot{Q}_{\text{dohřev,den}} = \frac{0,328 \cdot 990 \cdot 4182 \cdot (55 - 35)}{3600} = 7544,328 \text{ Wh / den}$$

$$\dot{Q}_{\text{dohřev,rok}} = 365 \cdot 7544,328 = 2753679,72 \text{ Wh / rok} = 2,754 \text{ MWh / rok}$$

$$E_{\text{dohřev,rok}} = 3600 \cdot 2753679,72 = 9913246992 \text{ J / rok} = 9,913 \text{ GJ / rok}$$

Voda v zásobníku TV bude dohřívána pomocí elektrického topného tělesa o výkonu:

$$P_{\text{el}} = \frac{\dot{Q}_{\text{dohřev,den}}}{\tau} = \frac{7544,328}{6} = 1257,39 \text{ W} \quad (4.21)$$

Na základě těchto výpočtů jsem zvolit od firmy Regulus zásobník teplé vody RBC 200 o objemu 200 l a s elektrickým topným tělesem Regulus o výkonu 1,35 kW [17]. Pokud by celý objem zásobníku teplé vody mělo nahřívat pouze elektrické topné těleso za předpokládaných podmínek (průměrná teplota vody na vstupu do zásobníku  $t_{v,2} = 10^\circ\text{C}$ , požadovaná teplota  $t_p = 55^\circ\text{C}$ ), voda v zásobníku TV by se ohřála za čas  $\tau_c$ :

$$\tau_c = \frac{V_{\text{zásobník},TV} \cdot \rho_{\text{zásobník},TV} \cdot c_{p,\text{zásobník},TV} \cdot (t_p - t_{v,2})}{3600 \cdot P_{el,\text{zásobník},TV}} \quad [\text{h}] \quad (4.22)$$

kde  $V_{\text{zásobník},TV}$  – objem zvoleného zásobníku [m<sup>3</sup>]

$\rho_{\text{zásobník},TV}$  – hustota TV v zásobníku pro střední teplotu vody v zásobníku [kg·m<sup>-3</sup>]

$c_{p,\text{zásobník},TV}$  – měrná tepelná kapacita TV v zásobníku pro střední teplotu vody v zásobníku [kJ·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>]

$P_{el,\text{zásobník},TV}$  – výkon elektrického topného tělesa [kW]

Objem zásobníku  $V_{\text{zásobník},TV}$  :

$$V_{\text{zásobník},TV} = 200 \text{ l} = 0,2 \text{ m}^3$$

Střední teplota vody v zásobníku  $t_{\text{stř},\text{zásobník},TV}$  :

$$t_{\text{stř},\text{zásobník},TV} = \frac{(t_p + t_{v,2})}{2} = \frac{(55 + 10)}{2} = 32,5^\circ\text{C} \quad (4.23)$$

Hustota vody v zásobníku  $\rho_{\text{zásobník},TV}$  určena pomocí EES pro střední teplotu  $t_{\text{stř},\text{zásobník},TV}$ :

$$\rho_{\text{zásobník},TV} = 995 \text{ kg·m}^{-3}$$

Měrná tepelná kapacita vody určena také pro střední teplotu pomocí EES:

$$c_{p,\text{zásobník},TV} = 4,183 \text{ J·kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Po dosazení do (4.22):

$$\tau_c = \frac{0,2 \cdot 995 \cdot 4183 \cdot (55 - 10)}{3600 \cdot 1350} = 7,71 \text{ h}$$

#### 4.3.4. Celková potřeba tepla

Celková potřeba tepla je dána součtem potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát objektu a potřeby tepla na přípravu TV:

$$\dot{Q}_{CT} = \dot{Q}_{T,Wh/rok} + \dot{Q}_{predhrev,rok} + \dot{Q}_{dohrev,rok} \quad [\text{MWh/rok}] \quad (4.24)$$

$$E_{CT} = E_{T,J/rok} + E_{predhrev,rok} + E_{dohrev,rok} \quad [\text{GJ/rok}] \quad (4.25)$$

Po dosazení do (4.24) a (4.25):

$$\dot{Q}_{CT} = 19,15 + 3,471 + 2,754 = 25,375 \text{ MWh/rok}$$

$$E_{CT} = 68,93 + 12,5 + 9,913 = 91,343 \text{ GJ/rok}$$

Celková spotřeba tepla se vypočítá jako součet spotřeby tepla na vytápění a spotřeby tepla na ohřev TUV.

$$\dot{Q}_{CT} = \dot{Q}_{T,Wh/rok} + \dot{Q}_{dohrev,rok} \quad [\text{MWh/rok}] \quad (4.26)$$

$$E_{CT} = E_{T,J/rok} + E_{dohrev,rok} \quad [\text{GJ/rok}] \quad (4.27)$$

Po dosazení do (4.26) a (4.27):

$$\dot{Q}_{CT} = 19,15 + 2,754 = 21,904 \text{ MWh/rok}$$

$$E_{CT} = 68,93 + 9,913 = 78,843 \text{ GJ/rok}$$

Ze závěrečného zhodnocení vyplývá, že oba způsoby (denostupňovou metodou a na základě průměrných teplot v otopném období) ke spotřebě tepla na vytápění a ohřev TUV jsou tyto metody výpočtu téměř srovnatelné.

#### 4.4. Volba akumulční nádrže s elektrokotlem ANE

Akumulční nádrž ANE obsahuje elektrokotel, který slouží jako doplňkový (bivalentní) zdroj vytápěního systému(s tepelným čerpadlem).

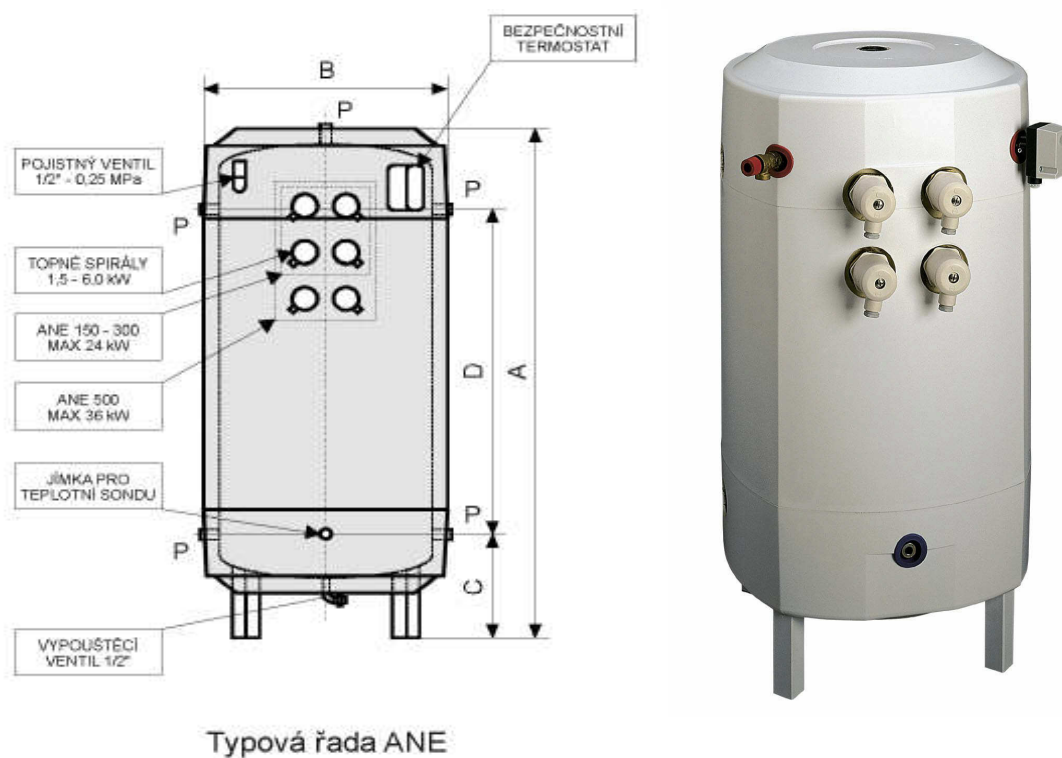
##### Nádrž ANE (akumulční nádrž s elektrokotlem) je osazena

- pojistným ventilem 1/2" - 0,25 MPa
- bezpečnostním (blokovacím) termostatem elektrokotle v krytí IP54
- vypouštěcím ventilem 1/2", mosazným kolínkem 1/2"
- jímkou pro teplotní sondu 6 mm
- elektrickými topnými tělesy
- topná tělesa jsou pro napětí: 3 x 400/230 V, 50 Hz, zapojení Y
- opatřeny tepelnou izolací z polyuretanové pěny tloušťky 35 mm, která je zevnějšku chráněna plastovým tubusem.

Volím akumulční nádrž s elektrokotlem ANE 150, topná tělesa 4 x 4,5 kW, výkon topných těles 1 x 6,0 kW[20].

Rozměry nádrže	A	1060	[mm]	Připojení pracovní látky	P	5/4"	[G]
	B	550	[mm]	Počet topných těles	ANE	4	[ks]
	C	270	[mm]	Hmotnost bez vody		55	[kg]
	D	595	[mm]				

Tabulka 4.4.1. Technické parametry nádrže



**Obr. 4.4. Rozměry nádrže ANE (akumulační nádrž s elektrokotlem)**

#### 4.5. Návrh expanzní nádoby

Expanzní nádoba je zabezpečovací zařízení otopné soustavy, slouží k vyrovnaní změny objemu otopné vody při jejím ohřátí, udržení přetlaku v otopné soustavě a automatické doplňování vody do otopné soustavy, při drobných netěsnostech soustavy. Návrh proveden podle [15], [16], [17].

Výpočet objemu expanzní tlakové nádoby:

$$V_{en} = \frac{1,3 \cdot V_o \cdot n}{\eta} \quad [l] \quad (4.28)$$

kde  $V_o$  – objem vody v celé otopné soustavě [ l ]

$n$  – součinitel zvětšení objemu [1]

$\eta$  – stupeň využití expanzní nádoby [1]



Součinitel zvětšení objemu  $n$  volím:

$$n = 0,00749$$

Objem vody v celé otopné soustavě  $V_o$  :

$$V_o = v \cdot Q_{C, RD} \quad [l] \quad (4.29)$$

kde  $v$  – směrná hodnota vodního obsahu otopné soustavy  $[l/kW]$

$Q_{C, RD}$  – celková tepelná ztráta objektu  $[kW]$

Směrná hodnota vodního obsahu otopné soustavy pro podlahové vytápění má hodnotu:

$$v = 20 \text{ l/kW}$$

Výpočet objemu vody v celé otopné soustavě – dosazení do (4.29):

$$V_o = 20 \cdot 7,9 = 158 \text{ l}$$

Stupeň využití expanzní nádoby stanovím ze vztahu:

$$\eta = \frac{p_{h, dov} - p_d}{p_{h, dov}} \quad [1] \quad (4.30)$$

kde  $p_{h, dov}$  – nejvyšší dovolený absolutní tlak  $[Pa]$

$p_d$  – hydrostatický absolutní tlak  $[Pa]$

Nejvyšší dovolený absolutní tlak  $p_{h, dov}$  je roven otevíracímu absolutnímu tlaku pojišťovacího ventilu:

$$p_{h, dov} = 300000 \text{ Pa} = 300 \text{ kPa}$$

Hydrostatický absolutní tlak je roven součtu hydrostatického tlaku vyvozeného sloupcem vody v soustavě a barometrického tlaku:

$$p_d = p_h + p_b \quad [\text{Pa}] \quad (4.31)$$

kde  $p_h$  – hydrostatický tlak vyvozený sloupcem vody v soustavě  $[\text{Pa}]$

$p_b$  – barometrický tlak  $[\text{Pa}]$

Hydrostatický tlak vyvozený sloupcem vody v soustavě:

$$p_h = h \cdot \rho \cdot g \quad [\text{Pa}] \quad (4.32)$$

kde  $h$  – výška vodního sloupce nad expanzní nádobou  $[\text{m}]$

$\rho$  – hustota vratné topné vody  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

$g$  – gravitační zrychlení  $[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$

Výška vodního sloupce nad expanzní nádobou má hodnotu

$$h = 5,5 \text{ m}$$

Hustotu vratné vody pro teplotu  $t_{V,vratná} = 35^\circ\text{C}$  určím pomocí EES:

$$\rho = 994 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Gravitační zrychlení má hodnotu:

$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Hydrostatický tlak  $p_h$  vyvozený sloupcem vody v soustavě – dosazení do (4.32):

$$p_h = 5,5 \cdot 994 \cdot 9,81 = 53631,27 \text{ Pa} = 53,63 \text{ kPa}$$

Barometrický tlak  $p_b$  za normálních podmínek:

$$p_b = 101325 \text{ Pa}$$

Hydrostatický absolutní tlak  $p_d$  – dosazení do (4.31):

$$p_d = 53631,27 + 101325 = 154956,27 \text{ Pa} = 154,96 \text{ kPa}$$

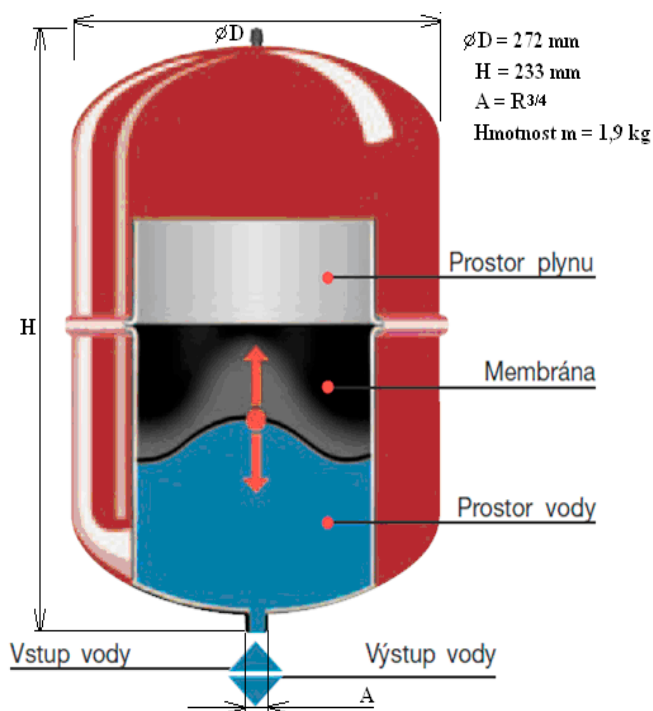
Výpočet stupně využití expanzní nádoby  $\eta$  – dosazení do (4.30):

$$\eta = \frac{300 - 154,96}{300} = 0,483 \text{ [1]}$$

Výpočet objemu expanzní nádoby  $V_{en}$  – dosazení do (4.28):

$$V_{en} = \frac{1,3 \cdot 158 \cdot 0,00749}{0,483} = 3,182 \text{ [l]}$$

Volím expanzní nádobu Reflex N 8/6 firmy Reflex o objemu 8 l a maximálním přetlaku 6 bar [17].



**Obr. 4.5.1. Expanzní nádoba**

## 4.6. Návrh oběhových čerpadel

Oběhová čerpadla se používají na cirkulaci vody v teplovodním topení nebo na cirkulaci teplé užitkové vody (TUV). Oběhová čerpadla musí splňovat mnoho požadavků a to dlouhá životnost, bezobslužný a bezhlučný provoz, malá spotřeba elektrické energie, příznivý poměr výkon/cena a možnost změny otáček.

Potřebný objemový průtok topné vody stanovím pomocí tepelných ztrát objektu:

$$\dot{V}_{o\check{c}} = \frac{3600 \cdot \dot{Q}_{C, RD}}{\rho_{OS} \cdot c_{p, OS} \cdot (t_{V, topná} - t_{v, vratná})} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4.33)$$

kde	$\dot{Q}_{C, RD}$	– celková tepelná ztráta rodinného domu	[kW]
	$\rho_{OS}$	– hustota vody v otopné soustavě	[kg m <sup>-3</sup> ]
	$c_{p, OS}$	– měrná tepelná kapacita vody v otopné soustavě	[kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
	$t_{V, topná}$	– teplota topné vody	[°C]
	$t_{v, vratná}$	– teplota vratné vody	[°C]

Hustota vody a měrná tepelná kapacita vody v otopné soustavě určím pomocí EES pro střední teplotu topné vody.

Střední teplota topné vody:

$$t_{stř, OS} = \frac{(t_{V, topná} + t_{v, vratná})}{2} = \frac{(45 + 35)}{2} = 40^\circ\text{C} \quad (4.34)$$

Hustota vody v otopné soustavě:

$$\rho_{OS} = 992 \text{ kg m}^{-3}$$

Měrná tepelná kapacita vody v otopné soustavě:

$$c_{p, OS} = 4,182 \text{ J kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Po dosazení do (4.33):

$$\dot{V}_{oc} = \frac{3600 \cdot 7,9}{992 \cdot 4,182 \cdot (45 - 35)} = 0,686 \text{ m}^3/\text{h}$$

Volím oběhové čerpadlo SEA-LAND CKR 180/45, 180 mm, 230 V s maximálním průtokem 2 m<sup>3</sup>/h a dopravní výškou 4 m [21].

#### Technické parametry:

- teplotní rozsah +5 °C až + 105 °C.
- způsob regulace výkonu: 3 stupně otáček
- hmotnost 2,6 kg
- vestavná délka 180 mm
- napětí 230 V
- příkon max. 69 W



Obr. 4.6.1 Oběhové čerpadlo SEA-LAND

## 5. Návrh tepelného čerpadla

### 5.1. Princip (TČ)

Tepelná čerpadla (TČ) jsou ekonomická a ekologická zařízení, která využívají energii okolního prostředí a přeměňují ji na teplo používané k vytápění budov a ohřevu vody. Tepelné čerpadlo odebírá nízkopotenciální energii vodě, vzduchu nebo země a na termodynamickém principu ji mění v potřebné a využitelné teplo, které se pak rozvádí vodou nebo vzduchem. Důležitými parametry (TČ) jsou topný výkon a topný faktor, který udává, jak efektivně dokáže tepelné čerpadlo pracovat. Dále je to chladivo, které se používá v tepelném čerpadle jako látka, která musí splňovat ekologické, bezpečnostní a hygienické požadavky. Nejčastěji používané chladivo, které proudí oběhem jsou R404A, R134a, R407C, R410A. Podle konkrétních podmínek uživatele je možno instalovat tepelná čerpadla s různými kombinacemi a to:

- země – voda
- země – vzduch
- voda – voda
- voda – vzduch
- vzduch – voda
- vzduch – vzduch

### 5.2. Technický princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo, respektive chladicí okruh, se rozděluje na čtyři základní části:

- **Výparník**

Do výparníku se přivádí okolním vzduchem nízkopotenciální teplo. Přivedené teplo způsobuje vypařování chladiva, páry chladiva se stávají nositelem tepelné energie a tu převádějí do kompresoru. Vzduch, jehož proudění přes výparník zajišťuje axiální ventilátor nebo ventilátory, se přitom ochladí. Vzduchová cesta představuje primární okruh TČ.

- **Kompresor**

Nasává páry z výparníku, stlačuje je a vytlačuje do kondenzátoru. Práce na pohon kompresoru se přemění v teplo, které se přičítá k teplu přivedenému z výparníku.

- **Kondenzátor**

Energie přivedená do kondenzátoru parami chladiva z výparníku a kompresoru se převádí do cirkulujícího topného média (sekundární okruh TČ), převedeným teplem se topné médium ohřívá.

- **Škrticí ventil**

Kapalné chladivo, které zkondenzovalo v kondenzátoru při vyšším (kondenzačním) tlaku, se vstříkují do výparníku, aby se zde opět vypařilo při nižším (vypařovacím) tlaku.

**Legenda:**

CV – čtyřcestný ventil

Č – sekundární čerpadlo

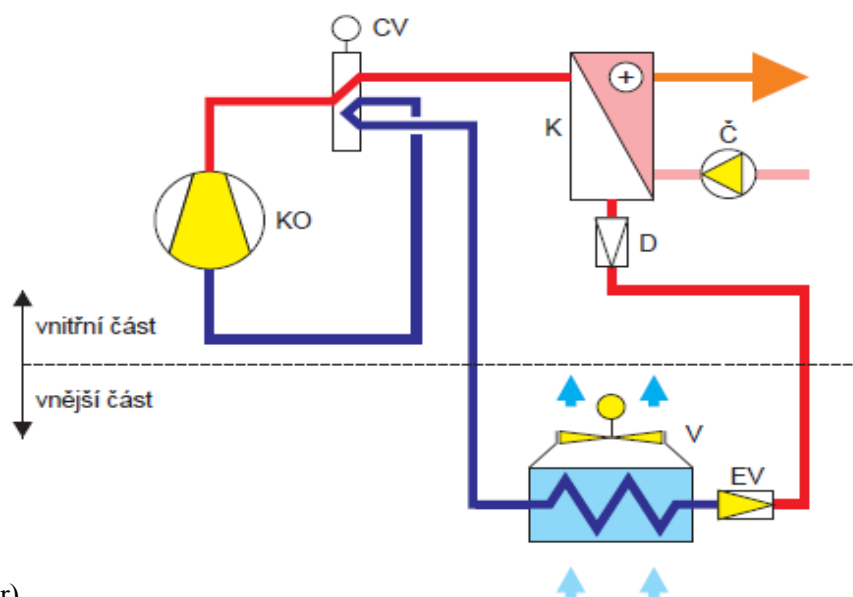
D – dýza

EV – expanzní ventil

K – kondenzátor

KO – kompresor

V – výparník (axiální ventilátor)



**Obr. 5.2.1. Princip funkce tepelného čerpadla**

### 5.3. Návrh tepelného čerpadla vzduch – voda

Topný výkon navrhovaného TČ je 6 kW, výstupní teplota topné vody 50°C, vstupní teplota teplota vzduchu 2°C.

Teplotu vratné vody z topného okruhu na vstupu do TČ volím  $t_{\text{vratná}} = 35^\circ\text{C}$ , teplotu výstupního vzduchu volím  $t_{\text{vzduch},2} = 1^\circ\text{C}$ .

Jako chladivo volím chladivo R404A.

|Zvolené hodnoty:

Kondenzační teplota:	$T_k = 55\text{ °C}$
Teplota vypařování:	$T_0 = -4\text{ °C}$
Podchlazení v kondenzátoru:	$\Delta T_k = 3\text{ °C}$
Přehřátí ve výparníku:	$\Delta T_v = 3\text{ °C}$

### **Výpočet pomocí programu (EES):**

Vypařovací tlak:

$$p_0 = 531\text{ kPa}$$

Kondenzační tlak:

$$p_k = 2572\text{ kPa}$$

Hodnota entalpie páry na vstupu do kompresoru:

$$h_1 = 219\text{ kJ/kg}$$

Teoretická hodnota entalpie páry po kompresi v kompresoru ( $\eta_{\text{kompresoru}} = 100\%$ ):

$$h_{2ie} = 250,5\text{ kJ/kg}$$

Skutečná hodnota entalpie páry po kompresi v kompresoru ( $\eta_{\text{kompresoru}} = 70\%$ ):

$$h_2 = 263,9\text{ kJ/kg}$$

Hodnota entalpie kapaliny na konci kondenzace a podchlazení v kondenzátoru:

$$h_3 = 133,5\text{ kJ/kg}$$

Hodnota entalpie mokré páry po expanzi na expanzním ventilu:

$$h_4 = h_3 = 133,5\text{ kJ/kg}$$

Výpočet teoretické hmotové topivosti:

$$q_{T,t} = h_{2ie} - h_3 = 250,5 - 133,5 = 117\text{ kJ/kg} \quad (5.1)$$



Výpočet skutečné hmotové topivosti:

$$q_T = h_2 - h_3 = 263,9 - 133,5 = 130,4 \text{ kJ/kg} \quad (5.2)$$

Výpočet hmotové chladivosti:

$$q_0 = h_1 - h_4 = 219 - 133,5 = 85,5 \text{ kJ/kg} \quad (5.3)$$

Výpočet teoretické měrné práce kompresoru:

$$a_t = h_{2ie} - h_1 = 250,5 - 219 = 31,5 \text{ kJ/kg} \quad (5.4)$$

Výpočet skutečné měrné práce kompresoru:

$$a = h_2 - h_1 = 263,9 - 219 = 44,9 \text{ kJ/kg} \quad (5.5)$$

Hodnotu hmotového toku chladiva získám ze znalosti požadovaného topného výkonu

$T\check{C} \dot{Q}_T = 6 \text{ kW}$  a z hodnoty hmotové topivosti:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_T}{q_T} = \frac{6}{130,4} = 0,04601 \text{ kg/s} \quad (5.6)$$

Výpočet chladicího výkonu:

$$\dot{Q}_{0,T\check{C}} = \dot{m} \cdot q_0 = 0,04601 \cdot 85,5 = 3,934 \text{ kW} \quad (5.7)$$

Výpočet teoretického příkonu kompresoru:

$$P_{\text{kompresoru},t} = \dot{m} \cdot a_t = 0,04601 \cdot 31,5 = 1,449 \text{ kW} \quad (5.8)$$

Výpočet příkonu kompresoru:

$$P_{\text{kompresoru}} = \dot{m} \cdot a = 0,04601 \cdot 44,9 = 2,066 \text{ kW} \quad (5.9)$$

Výpočet teoretického topného faktoru:

$$\varepsilon_{T,t} = \frac{q_{T,t}}{a_t} = \frac{117}{31,5} = 3,721 \text{ [i]} \quad (5.10)$$

Výpočet topného faktoru:

$$\varepsilon_T = \frac{q_T}{a} = \frac{130,4}{44,9} = 2,904 \text{ [1]} \quad (5.11)$$

Výpočet chladicího faktoru:

$$\varepsilon_0 = \frac{q_0}{a} = \frac{85,5}{44,9} = 1,904 \text{ [1]} \quad (5.12)$$

Výpočet kompresního poměru:

$$\sigma = \frac{p_K}{p_0} = \frac{2572}{531} = 4,844 \text{ [1]} \quad (5.13)$$

Výpočet čerpacího poměru:

$$\varphi = \frac{\dot{Q}_T}{\dot{Q}_{0,TČ}} = \frac{6}{3,934} = 1,525 \text{ [1]} \quad (5.14)$$

Provedení kontroly:

$$\text{Kontrola} = \dot{Q}_T - (\dot{Q}_{0,TČ} + P_{\text{kompresoru}}) = 6 - (3,934 + 2,066) = 0,000 \text{ kW} \quad (5.15)$$

Teoretická teplota páry po kompresi v kompresoru ( $\eta_{\text{kompresoru}} = 100 \%$ ):

$$T_{2ie} = 64,77 \text{ °C}$$

Skutečná teplota páry po kompresi v kompresoru ( $\eta_{\text{kompresoru}} = 70 \%$ ):

$$T_2 = 74,29 \text{ °C}$$

Teplota páry na začátku kondenzace:

$$T_{02} = T_K = 55 \text{ °C}$$

Teplota kapaliny na konci kondenzace:

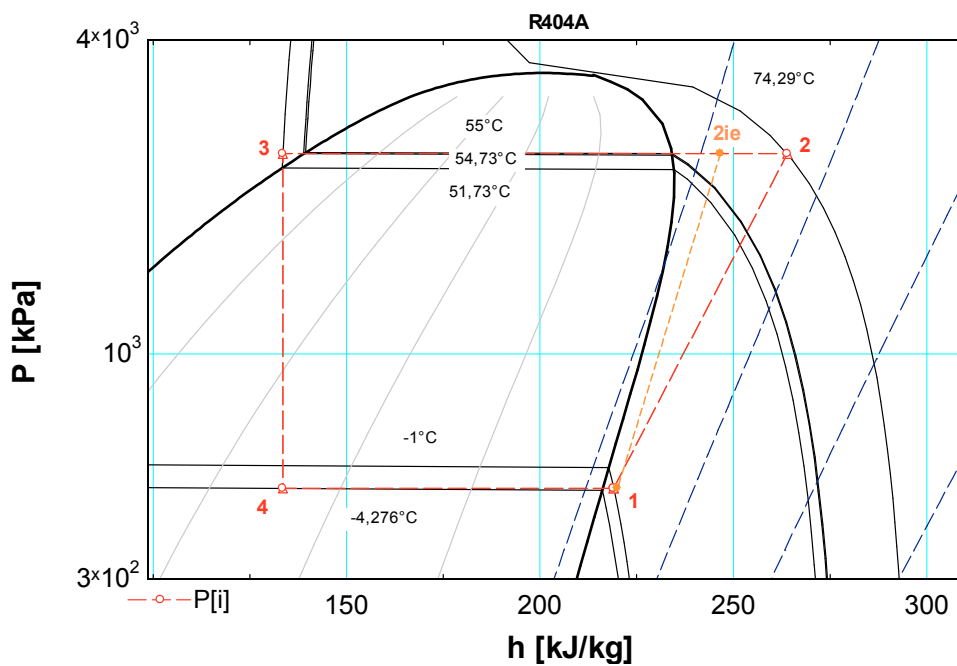
$$T_{03} = 54,73 \text{ °C}$$

Teplota kapaliny po podchlazení v kondenzátoru o  $\Delta T_k = 3^\circ\text{C}$ :

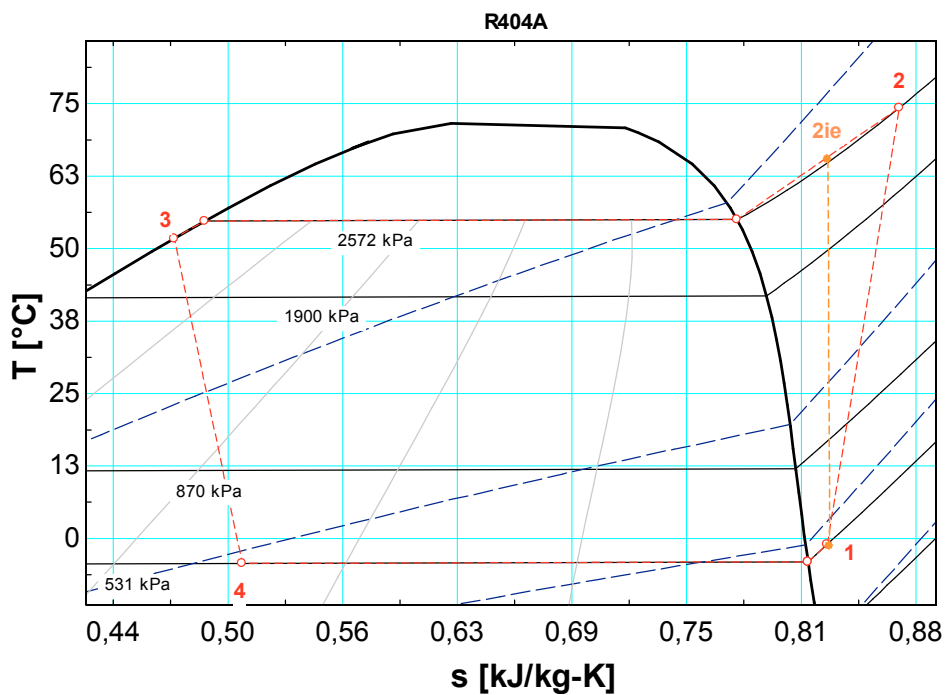
$$T_3 = T_{03} - \Delta T_k = 54,73 - 3 = 51,73^\circ\text{C} \quad (5.16)$$

Teplota mokré páry po expanzi na expanzním ventilu:

$$T_4 = -4,276^\circ\text{C}$$



Obr. 5.3.1. Vypočtený p - i diagram oběhu tepelného čerpadla s chladivem R404A



Obr. 5.3.2. Vypočtený T - s diagram oběhu tepelného čerpadla s chladivem R404A

### 5.3.1. Výpočet průměrů potrubí TČ

Doporučená rychlost proudění chladiva v jednotlivých potrubích podle [1]:

Sací potrubí:	$w_{\text{sání}} = 4 \div 10 \text{ m/s}$
Výtlačné potrubí:	$w_{\text{výtlač}} = 8 \div 12 \text{ m/s}$
Kapalinové potrubí:	$w_{\text{kapalina}} = 0,4 \div 0,8 \text{ m/s}$

Volím tyto hodnoty rychlostí:

Sací potrubí:	$w_{\text{sání}} = 5 \text{ m/s}$
Výtlačné potrubí:	$w_{\text{výtlač}} = 9 \text{ m/s}$
Kapalinové potrubí:	$w_{\text{kapalina}} = 0,6 \text{ m/s}$

Hustota chladiva v jednotlivých potrubích zjištěna pomocí EES na základě teploty a tlaku chladiva:

Hustota par v sání kompresoru:	$\rho_{\text{sání}} = 26,33 \text{ kg/m}^3$
Hustota par na výtlačku kompresoru:	$\rho_{\text{výtlač}} = 124,5 \text{ kg/m}^3$
Hustota kapaliny na výstupu z kondenzátoru:	$\rho_{\text{kapalina}} = 890,5 \text{ kg/m}^3$

Výpočet objemových toků v jednotlivých potrubích:

Sací potrubí:

$$\dot{V}_{\text{sání}} = \frac{\dot{m}}{\rho_{\text{sání}}} = \frac{0,04601}{26,33} = 1,747 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s} \quad (5.17)$$

Výtlačné potrubí:

$$\dot{V}_{\text{výtlač}} = \frac{\dot{m}}{\rho_{\text{výtlač}}} = \frac{0,04601}{124,5} = 3,695 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s} \quad (5.18)$$

Kapalinové potrubí:

$$\dot{V}_{\text{kapalina}} = \frac{\dot{m}}{\rho_{\text{kapalina}}} = \frac{0,04601}{890,5} = 5,167 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s} \quad (5.19)$$

kde  $\dot{m}$  – hmotový tok chladiva  $[kg/s]$

Průměry jednotlivých potrubí určím ze znalosti objemových toků a zvolených rychlostí

úpravou následující rovnice: 
$$\dot{V} = S \cdot w = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w \quad (5.20)$$

Sací potrubí:

$$d_{sání} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}_{sání}}{\pi \cdot w_{sání}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,747 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 5}} = 21,09 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (5.21)$$

Výtlačné potrubí:

$$d_{výtlak} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}_{výtlak}}{\pi \cdot w_{výtlak}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,695 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 9}} = 7,23 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (5.22)$$

Kapalinové potrubí:

$$d_{kapalina} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}_{kapalina}}{\pi \cdot w_{kapalina}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,167 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot 0,6}} = 10,47 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (5.23)$$

Volím následující průměry potrubí:

Sací potrubí:  $d_{sání} = 24 \times 1 \text{ mm}$

Výtlačné potrubí:  $d_{výtlak} = 10 \times 1 \text{ mm}$

Kapalinové potrubí:  $d_{kapalina} = 12 \times 1 \text{ mm}$

## 5.4. Volba jednotlivých dílů tepelného čerpadla

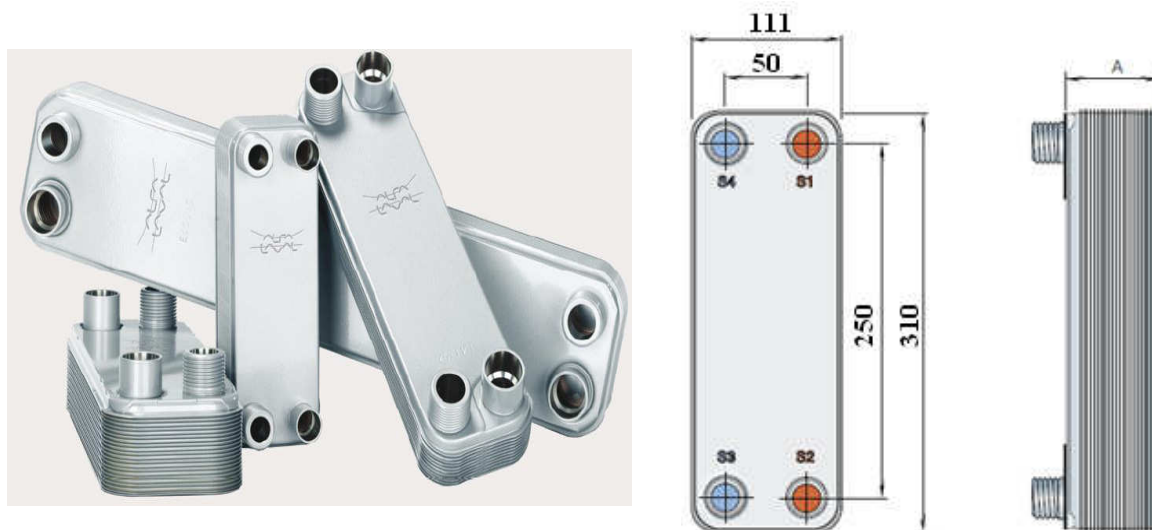
### 5.5 Výměníky tepla

Výměník tepla je zařízení, které zprostředkovává přenos tepla mezi médii tak, aby nedošlo k jejich vzájemnému kontaktu a musí platit druhá věta zákona termodynamiky, které říká, že teplo může přecházet jen z prostředí teplejšího do prostředí chladnějšího.

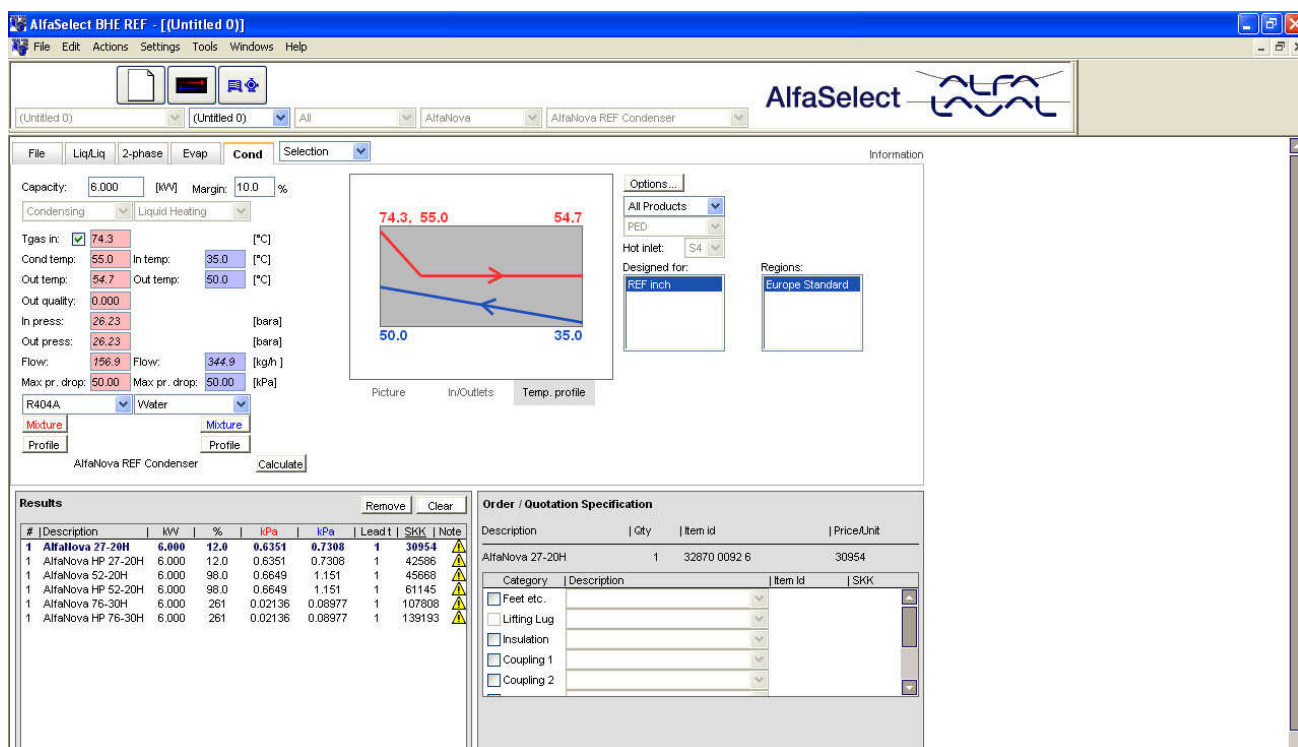
#### 5.5.1. Návrh kondenzátoru

Návrh kondenzátoru jsem provedl pomocí programu Alfa Laval pro výpočet výměníku tepla. Výpočet jsem provedl na základě teploty v daném oběhu a tepelném a chladicím výkonu. Volím deskový výměník AlfaNova 27-20H (kondenzátor). Podrobnější údaje a parametrech se nachází příloze viz. příloha č. 3.

Základem konstrukce mědi pájeného deskového výměníku (kondenzátoru) je svazek profilovaných desek lisovaných z nerezového plechu. Desky jsou k sobě poskládány tak, aby mezi nimi vznikly kanály, do kterých je vstupními otvory dopravována teplotonosná kapalina. Každá deska je obtékána primárním médiem z jedné strany a sekundárním médiem ze strany druhé. Mezi jednotlivými médii tak dochází k přestupu tepla. Pevné spojení měděnou pájkou na všech styčných bodech zajišťuje optimální účinnost přestupu tepla a vysokou odolnost proti tlaku a teplotnímu namáhání. Soubor desek je na obou stranách ukončen koncovými deskami. Hrdla jsou umístěna na přední desce[6].



Obr. 5.5.1. Konstrukce výměníku tepla (kondenzátoru)



Obr. 5.5.2. Návrh kondenzátoru pomocí programu Alfa Laval pro výpočet výměníku tepla

## 5.5.2. Výběr výparníku

Vnější část tepelného čerpadla tvoří lamelový výparník, který pracuje jako chladič okolního vzduchu a umísťuje v blízkosti vytápěného objektu na volném prostranství. Umístění včetně okolních úprav musí zajistit volné proudění vzduchu přes výparník. Dále musí zajistit odvod vody kondenzující nebo vymrzávající na výparníku, která z něj volně stéká trvale nebo při odtávání námrazy. Proudění vzduchu přes výparník zajišťuje axiální ultratichý ventilátor. Ventilátor pracují s dvoupolohovou regulací otáček, kterou můžeme snížit hlučnost v nočním provozu. Vnější část je vyrobena z materiálů odolných proti korozi, které dlouhodobě odolají všem povětrnostním vlivům venkovního prostředí [13], [14]. Volím výparník EURO CEV osazený axiálním ventilátorem.

### Technické údaje výparníku

- měděná trubka průměr 9 mm
- rozteč měděných trubek 25 x 25 mm

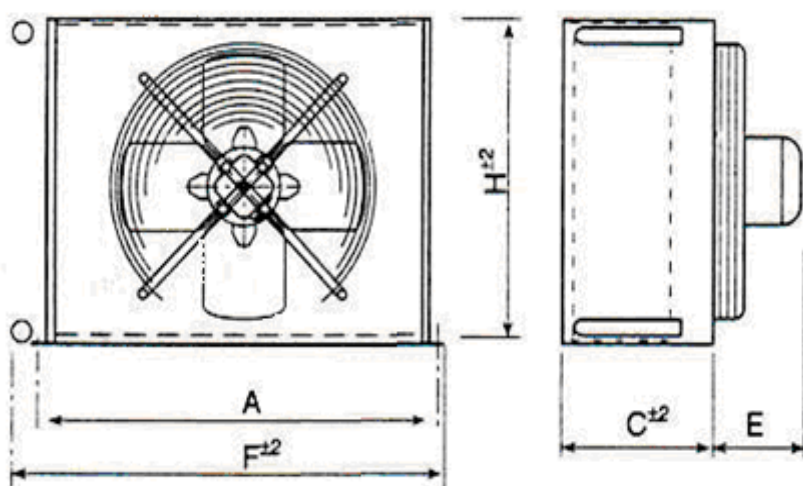
- rozteč lamel 3,5 mm
- plocha 3,2 m<sup>2</sup>
- počet tahů měděných trubek - jeden nebo dva
- plášť výparníku z tvrzeného hliníku

### Technické údaje ventilátoru

- 220V/1f/50Hz, 1300 ot/min, třída izolace B, výkon 0,1463 kW
- rozsah teplot okolí od -30°C do + 40°C
- objemový průtok vzduchu 790 m<sup>3</sup>/h
- rozměr ventilátoru 1x 250 mm
- připojení (vstup/výstup) 10 mm
- hlučnost 42 dB

Typ	A	H	C	F	Hmotnost[kg]
CEV 3125	325	320	135	360	5,65

Tabulka 5.5.3. Rozměry výparníku (mm)



Obr. 5.5.4. Axiální ultratichý ventilátor





**Obr. 5.5.5. Lamelový výměník tepla**

### 5.5.3. Výběr kompresoru

Kompresory Copeland typu scroll se díky svým konstrukčním vlastnostem jsou použitelné v širokém rozmezí teplot a tlaků, s různými chladivy a mazivy, výraznému zmenšení škodlivého prostoru a mimořádně nízké hlučnosti. Kompresory Scroll se vyznačují vysokou spolehlivostí, úsporností a vysokou dopravní účinností.

Základem konstrukcí kompresoru scroll jsou dvě do sebe vložené kovové spirály, kde horní je pevná a má uprostřed otvor, spojený s výtlačnou trubicí. Druhý díl tvoří dolní spirála, která je pohyblivá (neotáčí se), krouží v horní pomocí excentru umístěného na hřídeli motoru. Mezi spirálami v místech s odlišným zakřivením se vytvářejí plynové kapsy, které se neustále posouvají ke středu spirál a zmenšují svůj objem.

Volím kompresor scroll ZB19 KCE – TFD 551 firmy Copeland [18].

Legenda označení:

ZB – středoteplotní scroll s vysokou účinností

19 – jmenovitý výkon (v BTU/h)

K – násobek výkonu (K=1000; M=10 000)

C – kód verze kompresoru

E – druh maziva (polyesterový olej)

TFD – provedení elektromotoru (380/420V, 3 fáze, 50Hz)

551 – připojení kompresoru (šroubovací hrdla)



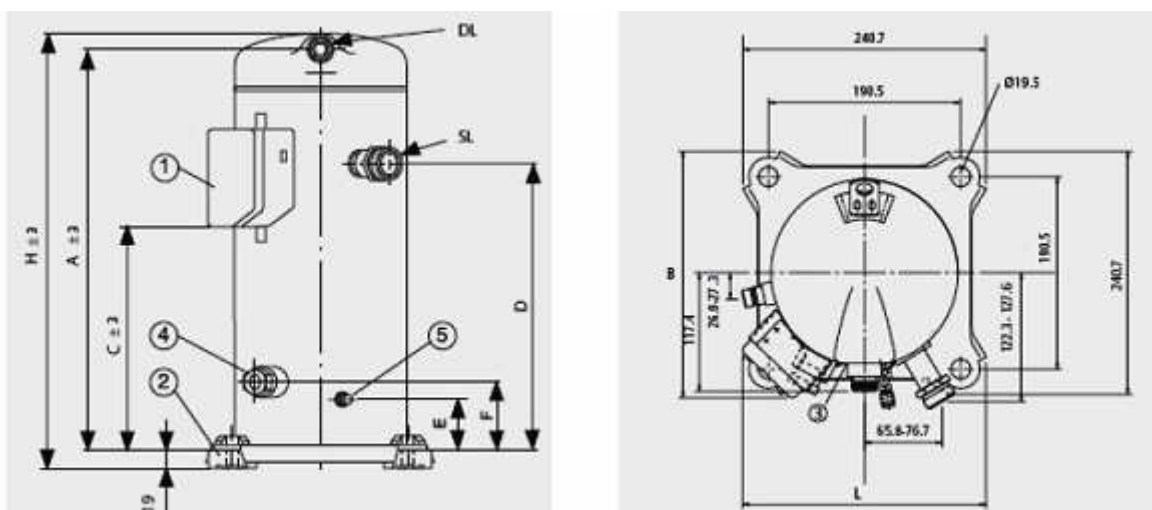
**Obr: 5.5.6. Kompresor scroll firmy Copeland**

model	výkon motoru	chladicí výkon	výkonnost	náplň maziva	přepavní hmotnost	čistá hmotnost	Provozní proud	Příkon
ZB 19 KCE	1,9	4,55	6,8	1,5	31	27	6,5	2,34
	[kW]	[kW]	[m <sup>3</sup> /h]	[lt]	[kg]	[kg]	[A]	[kW]

Obr. 5.5.7. Technické údaje kompresoru

typ	A ± 3	C ± 3	C1	D	E	F	H	I	J	K	L
ZB 19 KCE	344	202	-	245	44	69	389	-	-	-	243

Obr. 5.5.8. Rozměry kompresorů (mm)



Obr. 5.5.9. Technické schéma kompresoru

#### 5.5.4. Výběr sběrače kapaliny

Sběrač kapaliny je tlaková nádoba, která slouží jako zásobník celého objemu chladiva v systému TČ. Jeho funkcí je, aby do expanzního ventilu vstupovala pouze kapalina a oddělila kapalinu od případných par chladiva po zkondenzování chladiva v kondenzátoru. Sběrač kapaliny je na výstupu tvořena trubicí, která sahá až ke dnu sběrače. Sběrač kapaliny je vybaven uzavíracími ventily (Rotalock) s letovacím vstupem a postraním vstupem na manometr.

Volím stojatý sběrač chladiva EURO – EFM 5,6 firmy Euro Schiessl o objemu 5,5 l [13].

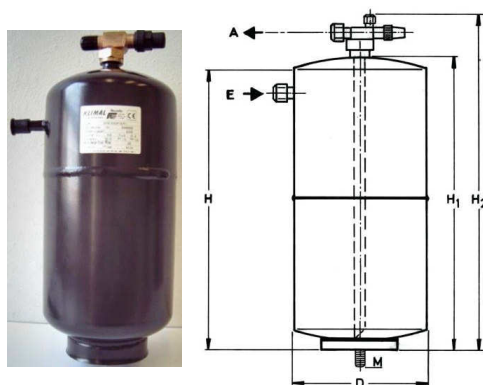
Maximální provozní tlak: 28bar

Přípustné provozní teploty:

min. od  $-10^{\circ}\text{C}$  do max.  $+100^{\circ}\text{C}$

Zkušební tlak: 40 bar

Barva: RAL 9011- černá



**Obr. 5.5.10. Stojatý sběrač chladiva EURO**

Typ	Objem	Rozměry připojení			
		Vstup		Výstup	
		Ø[mm]	[M]*)	Ø[mm]	[RV]*)
EFM 5,6	5,5	12	let.	10	1''-14 UNS

\*) M = letovací nátrubek, RV = Rotalock - uzavírací ventil s letovacím vstupem a postraním vstupem na manometr

**Obr. 5.5.11. Technické parametry sběrače chladiva**

Typ	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	ØD <sub>1</sub>	ØD <sub>2</sub>	Øi	A	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	G
	[mm±3]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
EFM 5,6	399	344	278	100	160	12	40	M10	18	3,85

**Obr. 5.5.12. Rozměry sběrače chladiva**

### 5.5.5. Výběr filtrdehydrátoru

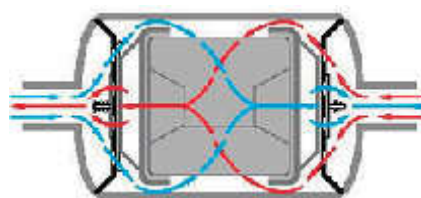
Filtrdehydrátor má za úkol odstranit škodlivé látky z obíhajícího chladiva a maziva dříve, než by mohly poškodit zařízení a způsobit vážnou poruchu. Na obalu naznačená výrobcem je nutné dodržet směr proudění chladiva. Z důvodu rovnoměrného průtoku chladiva se filtrdehydrátor montuje ve svislé poloze tak, aby přívod kapaliny byl

nahoře. Pokud se v okruhu objeví vlhkost, tak by se měl filtrdehydrátor v nejbližší době vyměnit. Filtrdehydrátory se dodávají pro připojení pájením nebo kalíškovými spoji.

Volím filtrdehydrátor BFK 084S firmy ALCO CONTROLS [19].

#### Technické údaje:

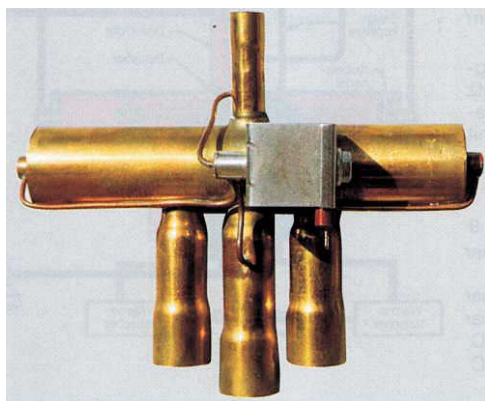
- připojení 1/2" let. (12mm vnitřní průměr, pájecí)
- obousměrný provoz
- optimální směs molekulového síta a aktivního aluminiumoxidu
- filtrační schopnost do velikosti 40µm
- rozsah teplot - 40 °C až + 65°C



Obr. 5.5.13. Filtrdehydrátor BFK 084S (Směr proudění chladiva v filtrdehydrátoru BFK)

#### 5.5.6. Výběr čtyřcestného reverzního ventilu

Jedná se o elektromagnetický reverzní ventil, který slouží k obrácení chodu chladicího okruhu. U TČ vzduch – voda se čtyřcestný reverzní ventil slouží pro přepnutí topného režimu na funkci odtávání námrazy. Ventil nám tak změni výtlač kompresoru za sání a sání za výtlač [13].

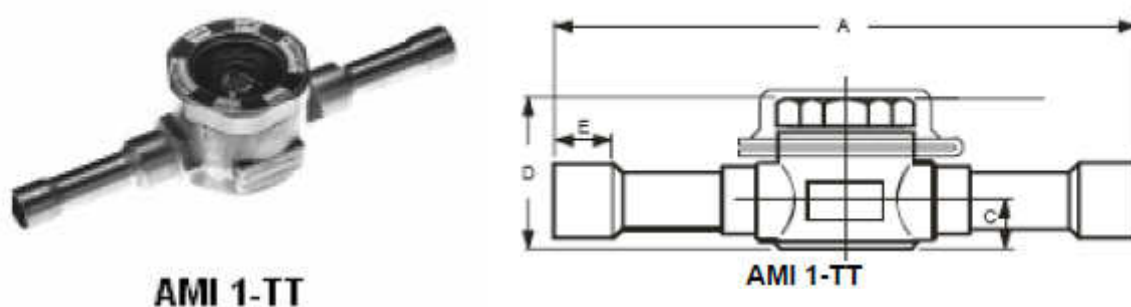


Obr. 5.5.14. Čtyřcestný reverzní ventil

### 5.5.7. Výběr průhledítka

Průhledítko slouží k sledování průtoku kapaliny v potrubí. Součástí průhledítka je indikátor vlhkosti, který při přítomnosti vlhkosti se projeví změnou barvy v mezikruží. Tento proces změny barvy je vratný. Průhledítko se zařazuje za sběrač chladiva a filtrdehydrátor před vstupem do termostatického expanzního ventilu, což v tomto případě se nesmí objevit bublinky. Jejich přítomnost signalizuje poruchu. Průhledítko je možné montovat ve svislé i vodorovné poloze.

Volím průhledítko AMI 1 – 1TT 4 firmy Alco Controls s připojením pájením. Barva se mění z modré (suché chladivo, obsah vlhkosti do 25 ppm), přes fialovou (do 50 ppm), varovnou purpurovou (do 110 ppm) po červenou (vlhké chladivo, 150 ppm)[13].



Obr. 5.5.15. Průhledítko AMI 1 – 1TT 4 pro připojení pájením

Typ	Hrdlo Ø		A	B	C	D	E
	[mm]	[´´]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
AMI – 1TT4	12	1/2	67	33	12	37	10

Obr. 5.5.16. Rozměrové parametry průhledítka

### 5.5.8. Výběr elektromagnetického ventilu

Elektromagnetický ventil se vkládá do kapalného potrubí před termostatickým expanzní ventil. Ten po odstavení kompresoru uzavře přívod kapalného chladiva. Při spouštění

kompresoru se ventil opět otevře a začne proudit okruhem znovu kapalné chladivo. Elektromagnetické ventily se rozdělují na malé ventily ovládané přímo elektromagnety a servoventily.

Volím elektromagnetický ventil 200RB4T3 (10mm, let.,230V,bez cívky) firmy ALCO CONTROLS [13].



**Obr. 5.5.17. Elektromagnetický ventil**

#### **5.5.9. Výběr presostatů**

Presostaty jsou nastavitelné tlakové spínače. Podle použití lze rozdělit na dva typy a to sací nebo výtlačné. Tyto snímače pracují na stejném principu. Liší se pouze rozsahem nastavení tlaků. Funkce využití tlakových spínačů (presostatů) lze použít při odstavení, odtávání okruhu nebo ovládání chodu kompresoru.

Při přerušení odvodu tepla z kondenzátoru TČ se aktivuje vysokotlaký presostat, který způsobí omezení průtoku topné vody vinou poruchy oběhového čerpadla. Dojde k zvýšení teploty v kondenzátoru a kondenzačního tlaku. Kompresory jsou vybaveny přetlakovou pojistkou, ale tento režim činnosti jim nesvědčí a vždy znamená závadu systému.

Pokud dojde poklesu sacího tlaku, aktivuje se nízkotlaký presostat, který plní pojistnou funkci na primární straně TČ. Poruchový stav nastane poklesem teploty vstupního média.

Volím presostat typu KP firmy Danfoss [13].

**Technické údaje:**

Kontakty: 10 - 16 A, 400V, 50 Hz

Rozsah okolních teplot:  $-40^{\circ}\text{C} \div +65^{\circ}\text{C}$  (až  $+85^{\circ}\text{C}$  po dobu 2h)

Maximální pracovní přetlak: NK= 17 bar, VK = 35 bar

Elektrické krytí: IP 33 standardně

IP 44 s vrchním krytem

IP 55 s ochranným krytem

Připojení: šroubení 7/16" UNF 20, letovací  $\varnothing$  6mm



Obr. 5.5.18. Presostat typu KP

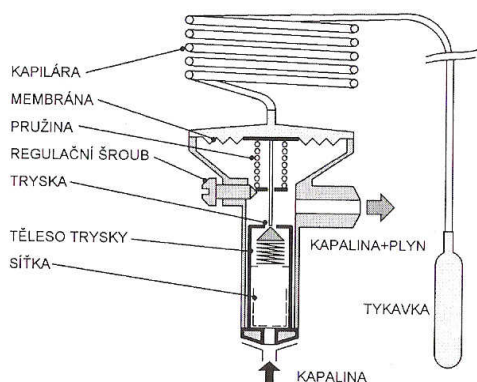
**5.5.10. Výběr expanzního ventilu**

Expanzní ventil slouží k rozstřikování kapalného chladiva do výparníku. Funkci výparníku je správné plnění a dodržení optimálního provozního režimu. Množství nastříkaného chladiva musí odpovídat množství vypařovaného chladiva. Důležitou částí termostatického expanzního ventilu je tykavka (teplotní čidlo). Jedná se o malou nádobku naplněnou vhodným médiem, která změnou teploty se mění tlak média v tykavce. Tlak je přenášen pomocí kapiláry na membránu TEV. Tlak nad membránou se zvyšuje s rostoucí teplotou tykavky, tlak pod membránou roste s vypařovací teplotou. Rozdíl těchto tlaků způsobuje tryska expanzního ventilu, což má uzavírat nebo otevírat a reguluje množství chladiva.

Volím termostatický expanzní ventil TUA 10/12 od firmy Danfoss [13].

**Technické parametry:**

- Rozsah teplot -  $60^{\circ}\text{C}$  až  $+10^{\circ}\text{C}$
- 10 různých velikostí trysek
- Bi-Flow provedení pro tepelná čerpadla
- Letovací koncovky z bimetalu  $\varnothing$  10/12mm (vstup/výstup).
- Montáž - pájení ventilu bez chlazení



Obr. 5.5.19. Termostatický expanzní ventil TUA

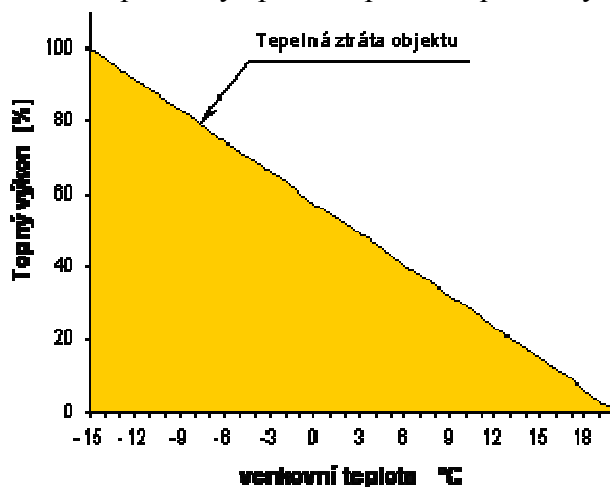
## 6. Provoz tepelných čerpadel

### 6.1 Způsob provozu tepelného čerpadla

Tepelné čerpadla lze provozovat v různých režimech a to při volbě provozního režimu rozhodují místní podmínky a podle typu zvoleného tepelného čerpadla.

### 6.2. Monovalentní provoz

Tepelné čerpadlo je v objektu jediným zařízením, které pokrývá celou potřebu tepla. Nevýhodou monovalentního provozu je zvýšené tepelné namáhání tepelného čerpadla za velmi nízkých teplot z důvodu extrémních teplotních výkyvů při jeho provozu v otopném období. To má za následek kratší dobu životnosti tepelného čerpadla. Tento provoz je vhodný pro nízko teplotní vytápění s teplotou topné vody max. do 60 °C.



Obr. 6.1. Závislost výkonu TČ na venkovní teplotě při monovalentním provozu

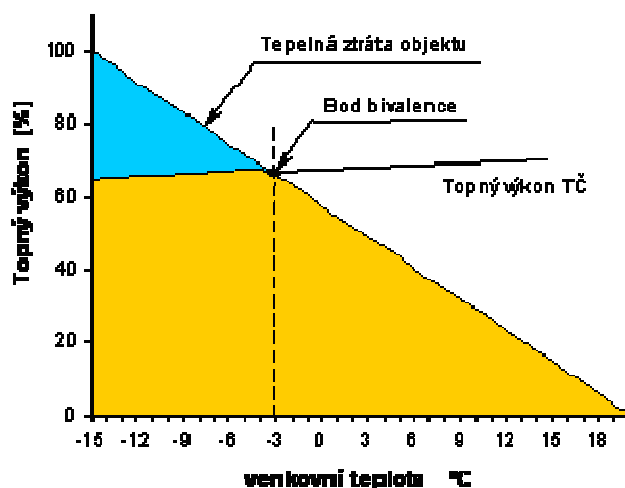


### 6.3. Monoenergetický provoz

Vytápěcí systém nevyžaduje žádné další vytápěcí zařízení. Tepelné čerpadlo vzduch - voda pracuje běžným způsobem až do venkovní teploty cca - 20 °C, ale od určité venkovní teploty, kdy jeho výkon nestačí se připne přídatný. Systém je doplněn elektrickým ohřevem.

### 6.4. Paralelně bivalentní provoz

Tepelné čerpadlo je dimenzováno na výkon do 70% tepelných ztrát objektu. Po dosažení tzv.bivalentního bodu se připojí druhý tepelný zdroj. V tomto případě slouží tepelné čerpadlo jako předeřev a bivalentní zdroj jako dohřev topné vody. Tento provoz je nejméně energeticky náročný, ale tepelné čerpadlo je stejně extrémně namáháno jako u provozu monovalentního. Tento provoz je vhodný pro nízkoteplotní podlahové či stěnové vytápění a pro vytápění pomocí radiátorů do teplot topné vody max. 60 °C.Bivalentní bod se pohybuje u vzduchových tepelných čerpadel v rozmezí -3 až -7 °C. U typu země/voda, pokud je dimenzováno na bivalentní provoz, je tento bod v rozmezí -5 až -8 °C.

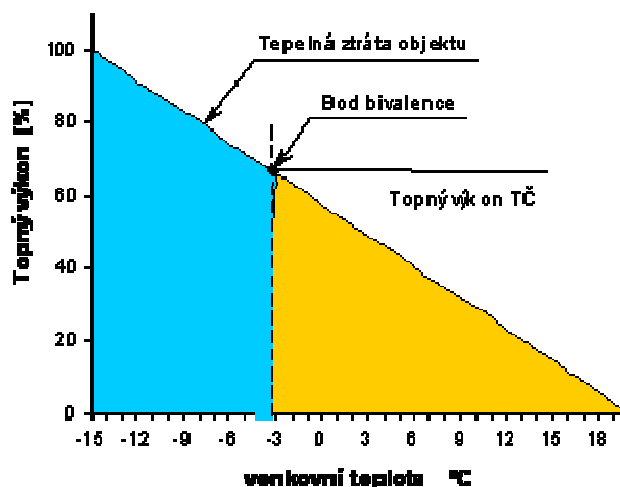


Obr. 6.2. Závislost výkonu TČ na venkovní teplotě při paralelně bivalentním provozu

### 6.5. Alternativně bivalentní provoz

Tepelné čerpadlo pokrývá celou potřebu tepla až do bodu bivalence. Poklesne-li teplota nízkopotenciálního zdroje tepla, tepelné čerpadlo se vypne a potřebu tepla poté hradí pouze

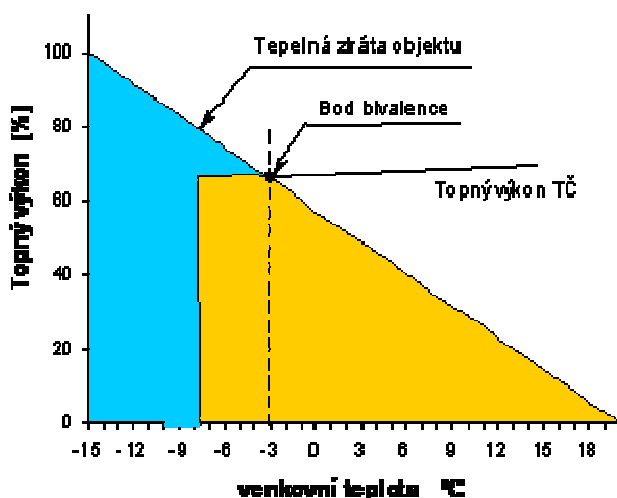
bivalentní zdroj. Tento způsob je možný u všech vytápěcích systémů pracujících s teplotou topné vody do max. 90 °C. Bivalentní provoz se používá u tepelných čerpadel vzduch/voda.



Obr. 6.3. Závislost výkonu TČ na venkovní teplotě při alternativně bivalentním provozu

## 6.6. Částečně paralelně bivalentní provoz

Tepelné čerpadlo pracuje pouze po část topné sezóny. Poklesne-li teplota pod bod bivalence, připojí se k tepelnému čerpadlu doplňkový tepelný zdroj. Pokud tepelné čerpadlo neprodukuje topnou vodu o požadovaných parametrech, je odstaveno. Tento provozní způsob je vhodný pro všechny vytápěcí systémy pracující s teplotou topné vody přes 60 °C. Je kompromisem předchozích variant bivalentních provozů z hlediska doby životnosti tepelného čerpadla a energetických úspor.



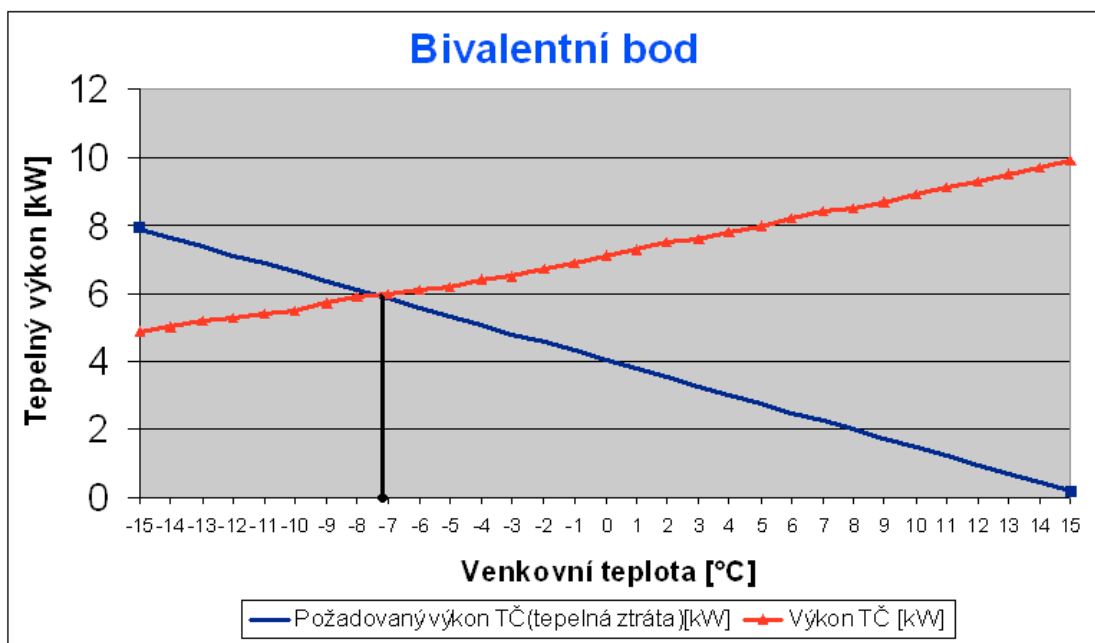
Obr. 6.4. Závislost výkonu TČ na venkovní teplotě při částečně paralelně bivalentním provozu

## 6.7. Dimenzování tepelného čerpadla (TČ)

Je-li požadován monovalentní provoz tepelného čerpadla, tj. provoz bez bivalentního(záložního) zdroje, je nutné výkon tepelného čerpadla zvolit takový, aby při výpočtové teplotě pokryl plně tepelnou ztrátu. Při dimenzování je pak nutné brát v úvahu určitou rezervu výkonu, který se spotřebuje pro odtávání a na pokrytí doby, kdy tepelné čerpadlo nepracuje. Pro tepelné čerpadlo je distribuční sazba elektrické energie D56d, která zahrnuje nízký tarif (NT) po dobu 22 hodin a vysoký tarif (VT) po dobu 2 hodin. Při vysokém tarifu tepelné čerpadlo nepracuje, prostřednictvím signálu HDO (dálkové přepínání tarifů) je odstaveno. Po dobu vysokého tarifu je vhodné, aby spotřebitel blokoval elektrická topná zařízení. Hlavními důvody proč dimenzovat TČ je snížení pořizovacích nákladů na tepelné čerpadlo a prodloužení životnosti TČ z důvodu menšího počtu zapnutí a vypnutí

## 6.8. Stanovení bivalentního bodu

Bod bivalence je průsečík dvou křivek požadovaného výkonu tepelného čerpadla a skutečného výkonu tepelného čerpadla v závislosti na venkovní teplotě.



Obr. 6.5. Bivalentní bod

Z grafu vyplývá, že bivalentní bod se pohybuje kolem hodnoty  $-7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  při výkonu TČ 6 kW. Do této teploty je celá potřeba tepla pokryta TČ, při podkročení této teploty dojde k zapojení bivalentního zdroje. Z výše stanoveného bodu bivalence volím tepelné čerpadlo o výkonu 6 kW při venkovní teplotě  $7^{\circ}\text{C}$ .

## 7. Ekonomické hodnocení

Ekonomické zhodnocení investice do tepelného čerpadla provedu porovnáním investičních a provozních nákladů s jiným zdrojem tepla. Výpočet ekonomické návratnosti investice do tepelného čerpadla. Délka návratnosti investice v porovnání s vytápěním zemním plynem nebo elektřinou.

### 7.1. Předpokládané náklady výstavbu tepelného čerpadla vzduch – voda

Položka	Typ	Výrobce	Cena
Kondenzátor	AlfaNova 27-20H	Alfa Laval	26365
Výparník	EURO CEV	Schiessl	14285
Kompresor	ZB19 KCE – TFD 551	Copeland	19824
Sběrač chladiva	EURO EFM 5,6	Euro Schiessl	1370
Filtrdehydrátor	BFK 084S	Alco Controls	786
Průhledítko	AMI 1 – 1TT 4	Alco Controls	795
Termostatický expanzní ventil	TUA 10/12	Danfoss - Schiessl	1467
Presostat	Typ KP	Danfoss - Schiessl	1210
Elektromagnetický ventil	200RB4T3	Alco Controls	1471
Čtyřcestný ventil	V2-408060200	Schiessl	1272
Kulové kohouty páka s filtrem	DN 15 - 1/2" filtrball	PROFI-UNION, spol. s r.o.	531
Kulové kohouty (motýlek)	DN 15 - 1/2"	PROFI-UNION, spol. s r.o.	415,2
Průtokoměr	Enbra EV	Enbra	398
Chladivo	R404A	-	1180
Izolace	Armaflex AC	Schiessl	452
Regulace	-	-	30500
Potrubí, kolena, armatury aj.	-	-	773
Rám	-	-	3995

Spojovací materiál	-	-	308
Montáž a ostatní	-	-	4500

**Tabulka. 7.1. Předpokládané náklady výstavby TČ vzduch – voda.**

Předpokládané náklady výstavby TČ vzduch – voda jsou  $N_{TČ} = 111897,2$  Kč.

Dalšími položkami do ekonomického zhodnocení jsou ceny s pořízením akumulční nádrže s elektrokotlem, zásobník TV, topných těles, expanzní nádoby, oběhová čerpadla, armatur, ventilů, potrubí a dalších zařízení potřebných k připojení TČ k otopné soustavě:

Položka	Typ	Cena
Akumulační nádrž s elektrokotlem	ANE 150, 6,0 kW	21000
Zásobník TV	Regulus RBC 200	19908
Elektrické topné těleso	Regulus 1,35kW	604
Oběhové čerpadlo	Sea-Land CKR 180/45	1416
Expanzní nádoba	Reflex N 8/6	700
Armatury, ventily, potrubí aj.	-	2600

**Tabulka. 7.2. Další náklady na připojení TČ vzduch –voda k otopné soustavě**

Další náklady jsou v celkové výši  $N_{DN} = 46228$  Kč.

Celkové investiční náklady je dáno součtem nákladů na pořízení TČ a jeho připojení ke nízkopotenciálnímu zdroji a dalších nákladů na připojení TČ k otopné soustavě:

$$N_{IC} = N_{TČ} + N_{DN} = 111897,2 + 46228 = 158125,2 \text{ Kč} \quad (7.1)$$

## 7.2. Provozní náklady

TČ se vyznačují jeho snadnou instalací a minimální nároky na prostor. Hlavní výhodou tepelných čerpadel jsou velmi nízké provozní náklady ve srovnání s elektřinou nebo plynem. Díky úspornému provozu dokáže tepelné čerpadlo ušetřit mnoho financí na vytápění a ohřev vody. TČ vzduch – voda bude pracovat v otopném období po dobu 225 dnů (jak dlouho by muselo TČ vynaložit na maximální výkon) pro pokrytí tepelných ztrát

rodinného domu a přehřev TV, charakterizuje následující tabulka 7.3. V daném období jako bivalentní zdroj bude sloužit elektrická topná tělesa o výkonu 4,5 kW. Pro dohřev teplé vody použijí elektrické topné těleso Regulus o výkonu 1,35 kW. Mimo otopné období bude TČ sloužit pro přehřev teplé vody [17],[20].

Měsíc [1]	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Počet dní [1]	5	31	30	31	31	28	31	30	8
$t_{es}$ [°C]	13,8	8,9	3,2	-0,7	-1,7	0,2	3,6	8,4	13,2
$Q_{T+TV,i}$ [MWh]	0,193	2,045	2,933	3,705	3,877	3,2055	2,961	2,063	0,336
$E_{T+TV,i}$ [GJ]	0,696	7,362	10,56	13,34	13,96	11,54	10,66	7,426	1,209
$\tau_{h,i}$ [h]	32,2	340,8	488,8	617,4	646,2	534,25	493,5	343,8	55,98

**Tabulka 7.3. Doba fungování TČ v otopném období po dobu 225 dnů**

Výpočet pro leden:

$$\tau_{h, \text{leden}} = \frac{E_{T+TV, \text{leden}}}{\dot{Q}_T \cdot 3600} = \frac{13,34 \cdot 10^9}{6000 \cdot 3600} = 617,4 \text{ h} \quad (7.2)$$

kde  $\dot{Q}_T$  – topný výkon TČ [kW]

Doba provozu, při kterém by muselo TČ fungovat, aby pokrylo potřebu tepla pro vytápění a přehřev vody v celém topném období:

$$\tau_h = \sum \tau_{hi} = 3553,011 \text{ h} \quad (7.3)$$

Při provozu v topném období mohou vyskytnout dny, kdy jejich průměrná teplota je nižší než průměrná teplota v celém měsíci. Potřeba tepla po dny s teplotou nižší než -7°C (bivalentní bod).

Pro vytápění tepelným čerpadlem použijí distribuční sazbu elektrické energie D56d od společnosti ČEZ,a.s., která zahrnuje nízký tarif (NT) po dobu 22 hodin (platí 2407,61 Kč/MWh) a vysoký tarif (VT) po dobu 2 hodin (platí 2910,44 Kč/MWh)[25].

### 7.3 Provozní náklady v otopné sezóně

Následující tabulka charakterizuje náklady na provoz v topném období:

	Dohřev TV	Kompresor TČ	Bivalentní zdroj	Oběhové čerpadlo TV	Oběhové čerpadlo topné vody
$Q_i$ [MWh]	1,7	8,314	0,325	0,093	0,245
Náklady [Kč]	4092,94	20016,87	782,473	223,91	589,86

**Tabulka 7.4. Náklady na provoz v topném období**

Dohřev TV pomocí elektrického topného tělesa Regulus 1,35 kW [17]

Dohřev TV (za předpokladu 100% přeměny elektřiny na teplo budou náklady na dohřev):

$$N_{\text{dohřev}} = Q_{\text{dohřev}} \cdot N \quad [\text{Kč}] \quad (7.4)$$

kde  $Q_{\text{dohřev}}$  – elektrická energie spotřebovaná k pokrytí dohřevu TV [MWh]  
 $N$  – nízký tarif [Kč/MWh]

Elektrická energie potřebná k pokrytí dohřevu TV:

$$Q_{\text{dohřev}} = \dot{Q}_{\text{dohřev,den}} \cdot d_c \quad [\text{MWh}] \quad (7.5)$$

kde  $\dot{Q}_{\text{dohřev,den}}$  – množství tepla potřebného k dohřevu vody za den [kWh/den]  
 $d_c$  – počet dní otopného období [1]

Množství tepla potřebného k dohřevu vody za den,určím viz. vzorec (4.17):

$$\dot{Q}_{\text{dohřev,den}} = 7,544 \text{ [kWh/den]}$$

Počet dní otopného období:

$$d_c = 225 [1]$$

Po dosazení do vzorce (7.5):

$$Q_{\text{dohřev}} = 7,544 \cdot 225 = 1697,4 \text{ kWh} \doteq 1,7 \text{ MWh}$$

Výsledná cena za energii – dosazení do vzorce (7.4):

$$N_{\text{dohřev}} = 1,7 \cdot 2407,61 = 4092,94 \text{ Kč}$$

Kompresor scroll ZB19 KCE – TFD 551 o příkonu 2,34 kW[18]

Doba provozu v otopném období  $\tau_h = 3553,011 \text{ h}$

Na provoz kompresoru bude potřeba:

$$Q_{\text{kompresor}} = P_K \cdot \tau_h = 2,34 \cdot 3553,011 = 8314,045 \text{ kWh} = 8,314 \text{ MWh} \quad (7.6)$$

Náklady na provoz kompresoru budou:

$$N_{\text{kompresor}} = Q_{\text{kompresor}} \cdot NT = 8,314 \cdot 2407,61 = 20016,87 \text{ Kč} \quad (7.7)$$

Bivalentní zdroj (elektrická topná tělesa Regulus 4,5 kW) [20]

Bivalentní zdroj bude krýt ztrátu 325 kWh v období, kdy teplota klesne pod  $-7^\circ\text{C}$  (při 100% přeměně elektrické energie na jeho provoz):

$$N_{\text{BZ}} = Q_{\text{BZ}} \cdot NT = 0,325 \cdot 2407,61 = 782,473 \text{ Kč} \quad (7.8)$$

Oběhové čerpadlo SEA-LAND CKR 180/45 [21]

Oběhové čerpadlo TV bude v provozu sloužit pro předehřev TV po dobu  $\tau = 6 \text{ h}$  denně, při maximálním příkonu  $P_{0\check{C},TV} = 69 \text{ kW}$ , které spotřebuje za celé otopné období:

$$Q_{0\check{C},TV} = P_{0\check{C},TV} \cdot \tau \cdot d_c = 69 \cdot 6 \cdot 225 = 93150 \text{ Wh} = 0,093 \text{ MWh} \quad (7.9)$$



Náklady na jeho provoz budou:

$$N_{OČ,TV} = Q_{OČ,TV} \cdot NT = 0,093 \cdot 2407,61 = 223,91 \text{ Kč} \quad (7.10)$$

Oběhové čerpadlo SEA-LAND CKR 180/45 [21]

Doba provozu oběhového čerpadla v otopném období  $\tau_h = 3553,011 \text{ h}$ . Na jeho provoz bude potřeba:

$$Q_{OČ,topné} = P_{OČ,topné} \cdot \tau_h = 69 \cdot 3553,011 = 245157,76 \text{ Wh} = 0,245 \text{ MWh} \quad (7.11)$$

Náklady na jeho provoz budou:

$$N_{OČ,topné} = Q_{OČ,topné} \cdot NT = 0,245 \cdot 2407,61 = 589,86 \text{ Kč} \quad (7.12)$$

Celkové náklady na provoz v otopném období:

$$N_{OT} = 25\,706,053 \text{ Kč}$$

#### 7.4. Provozní náklady mimo otopnou sezonu

Následující tabulka charakterizuje náklady na provoz mimo otopné období:

	Dohřev TV	Kompresor TČ	Bivalentní zdroj	Oběhové čerpadlo TV	Oběhové čerpadlo topné vody
$Q_i$ [MWh]	1,056	0,316	0	0,00933	0
Náklady [Kč]	2542,44	760,8	0	22,463	0

**Tabulka 7.5. Náklady na provoz mimo topné období**

Dohřev TV pomocí elektrického topného tělesa Regulus 1,35 kW [17]

Dohřev TV (za předpokladu 100% přeměny elektřiny na teplo budou náklady na dohřev):

$$N_{\text{dohřev}} = Q_{\text{dohřev}} \cdot NT \quad [\text{Kč}] \quad (7.13)$$

kde  $Q_{\text{dohřev}}$  – elektrická energie spotřebovaná k pokrytí dohřevu TV [MWh]  
 $NT$  – nízký tarif [Kč/MWh]

Elektrická energie potřebná k pokrytí dohřevu TV:

$$Q_{\text{dohřev}} = \dot{Q}_{\text{dohřev,den}} \cdot (365 - d_c) \quad [\text{MWh}] \quad (7.14)$$

kde  $\dot{Q}_{\text{dohřev,den}}$  – množství tepla potřebného k dohřevu vody za den [kWh/den]  
 $d_c$  – počet dní otopného období [1]

Množství tepla potřebného k dohřevu vody za den,určím viz. vzorec (4.17):

$$\dot{Q}_{\text{dohřev,den}} = 7,544 \text{ [kWh/den]}$$

Počet dní otopného období:

$$d_c = 225 \text{ [1]}$$

Po dosazení do vzorce (7.14):

$$Q_{\text{dohřev}} = 7,544 \cdot (365 - 225) = 1056,16 \text{ kWh} = 1,056 \text{ MWh}$$

Výsledná cena za energii – dosazení do vzorce (7.13):

$$N_{\text{dohřev}} = 1,056 \cdot 2407,61 = 2542,44 \text{ Kč}$$

Při provozu TČ mimo otopné období bude sloužit pouze pro předehřev vody. V tomto období využít celý topný výkon  $\dot{Q}_T = 6 \text{ kW}$  pro tento účel. Doba předehřevu se tak zkrátí ze zvolené doby  $\tau = 6 \text{ h}$  na dobu  $\tau_L$  :

$$\tau_L = \frac{V_{\text{zásobník},TV} \cdot \rho_{TV} \cdot c_{p,TV} \cdot (t_{V,1} - t_{V,2})}{3600 \cdot \dot{Q}_T} \quad [\text{h}] \quad (7.15)$$

kde  $V_{\text{zásobník},TV}$  – objem zvoleného zásobníku  $[\text{m}^3]$   
 $\rho_{TV}$  – hustota přehřáté TV  $[\text{kg}/\text{m}^3]$   
 $c_{p,TV}$  – měrná tepelná kapacita TV  $[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$   
 $t_{V,1}$  – teplota přehřáté TV pomocí TČ  $[\text{°C}]$   
 $t_{V,2}$  – průměrná teplota vody na vstupu do zásobníku TV  $[\text{°C}]$   
 $\dot{Q}_T$  – topný výkon TČ  $[\text{kW}]$

Objem zásobníku  $V_{\text{zásobník},TV}$  :

$$V_{\text{zásobník},TV} = 200 \text{ l} = 0,2 \text{ m}^3$$

Střední teplota vody v zásobníku  $t_{\text{stř},\text{zásobník},TV}$ :

$$t_{\text{stř},TV} = \frac{(t_{V,1} + t_{V,2})}{2} = \frac{(35 + 10)}{2} = 22,5^\circ\text{C} \quad (7.16)$$

Hustota vody v zásobníku  $\rho_{TV}$  určena pomocí EES pro střední teplotu  $t_{\text{stř},TV}$  :

$$\rho_{TV} = 998 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Měrná tepelná kapacita vody určena také pro střední teplotu pomocí EES:

$$c_{p,TV} = 4,183 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Po dosazení do vzorce (7.15):

$$\tau_L = \frac{0,2 \cdot 998 \cdot 4183 \cdot (35 - 10)}{3600 \cdot 6000} = 0,966 \text{ h}$$

Při zkrácení doby přehřevu na  $\tau_L = 0,966 \text{ h}$  dojde také zkrácení doby provozu kompresoru a oběhového čerpadla TV.

Kompresor scroll ZB19 KCE – TFD 551 o příkonu 2,34 kW[18]

Doba provozu v mimo otopném období bude  $\tau_L = 0,966$  h denně.

Na provoz kompresoru bude potřeba:

$$Q_{kompresor} = P_K \cdot \tau_L \cdot (365 - d_c) \quad [MWh] \quad (7.17)$$

$$Q_{kompresor} = 2,34 \cdot 0,966 \cdot (365 - 225) = 316,462 \text{ kWh} = 0,316 \text{ MWh}$$

Náklady na provoz kompresoru budou:

$$N_{kompresor} = Q_{kompresor} \cdot NT = 0,316 \cdot 2407,61 = 760,8 \text{ Kč} \quad (7.18)$$

Bivalentní zdroj (elektrická topná tělesa Regulus 4,5 kW) [20]

Bivalentní zdroj nebude v tomto období potřeba.

Oběhové čerpadlo SEA-LAND CKR 180/45 [21]

Oběhové čerpadlo TV bude v provozu sloužit pro předehřev TV po dobu  $\tau_L = 0,966$  h denně, při maximálním příkonu  $P_{0\check{c},TV} = 69 \text{ kW}$ , které spotřebuje mimo otopné období:

$$Q_{O\check{c},TV} = P_{O\check{c},TV} \cdot \tau_L \cdot (365 - d_c) \quad [MWh] \quad (7.19)$$

$$Q_{O\check{c},TV} = 69 \cdot 0,966 \cdot (365 - 225) = 9331,56 \text{ Wh} = 0,00933 \text{ MWh}$$

Náklady na jeho provoz budou:

$$N_{O\check{c},TV} = Q_{O\check{c},TV} \cdot NT = 0,00933 \cdot 2407,61 = 22,463 \text{ Kč} \quad (7.20)$$

### Oběhové čerpadlo SEA-LAND CKR 180/45 [21]

Oběhové čerpadlo topné vody bude v tomto období mimo provoz.

Celkové provozní náklady mimo otopné období:

$$N_{MOT} = 3325,703 \text{ Kč}$$

## **7.5. Celkové roční provozní náklady**

Celkové roční provozní náklady jsou dány součtem nákladů v otopném, mimo otopného období a stálých měsíčních plateb [25]:

$$N_{CN} = N_{OT} + N_{MOT} + 12 \cdot N_{PP} + 12 \cdot N_{PCM} \quad [Kč] \quad (7.21)$$

kde  $N_{OT}$  – náklady v otopném období [Kč]

$N_{MOT}$  – náklady mimo otopné období [Kč]

$N_{PP}$  – měsíční poplatek za příkon podle jmenovité proudové hodnoty jističe [Kč]

$N_{PCM}$  – pevná cena elektřiny za měsíc [Kč]

Celkové provozní náklady v otopném období:

$$N_{OT} = 25\,706,053 \text{ Kč}$$

Celkové provozní náklady mimo otopné období:

$$N_{MOT} = 3325,703 \text{ Kč}$$

Měsíční poplatek za příkon  $N_{PP}$  pro 3x10A až 3x16A:

$$N_{PP} = 230,40 \text{ Kč}$$

Pevná cena za měsíc:

$$N_{PCM} = 60 \text{ Kč}$$

Po dosazení do vzorce (7.21):

$$N_{CN} = 25\,706,053 + 3325,703 + 12 \cdot 230,40 + 12 \cdot 60 = 32516,56 \text{ Kč}$$

## 7.6. Náklady na vytápění rodinného domu zemním plynem

Celková potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát objektu a přípravu teplé vody:

$$\dot{Q}_{CT} = 25,375 \text{ MWh / rok}$$

$$E_{CT} = 91,343 \text{ GJ / rok}$$

Náklady na vytápění a přípravu TV plynem určím ze vzorce[23]:

$$N_{ZP} = C_{ZP} \cdot \frac{\dot{Q}_{CT}}{\eta_{kotle}} + 12 \cdot N_{SMP} \quad [\text{Kč}] \quad (7.22)$$

kde  $C_{ZP}$  – součet cen za odebraný plyn [Kč/kWh]

$\eta_{kotle}$  – účinnost kotle [1]

$N_{SMP}$  – součet stálých měsíčních poplatků za plyn [Kč]

Součet cen za odebraný plyn:

$$C_{ZP} = 1,49771 \text{ [Kč/kWh]}$$

Účinnost plynového kotle:

$$\eta_{kotle} = 0,92 \text{ [1]}$$

Součet stálých měsíčních poplatků:

$$N_{SMP} = 289,06 \text{ [Kč]}$$

Uvedené ceny jsou platné pro zákazníky RWE Energie, a.s.

Náklady na vytápění plynem – dosazení do vzorce (7.22):

$$N_{zp} = 1,49771 \cdot \frac{25,375 \cdot 10^3}{0,92} + 12 \cdot 289,06 = 44777,84 \text{ Kč}$$

## 7.7. Návratnost

Prostou návratnost určím pomocí vzorce:

$$d_n = \frac{N_{IC}}{U_r} \quad [\text{rok}] \quad (7.23)$$

kde  $N_{IC}$  – celková investice

[Kč]

$U_r$  – roční úspory

[Kč/rok]

Celková investice:

$$N_{IC} = 158125,2 \text{ Kč}$$

Roční úspory - Tarif D 56d (nízký tarif (NT), který platí pro všechny elektrospotřebiče, proto počítám s další úsporou 6500 Kč/rok):

$$U_r = N_{zp} - N_{CN} + 6500 \quad [\text{Kč / rok}] \quad (7.24)$$

kde  $N_{zp}$  – náklady na vytápění a přípravu TV zemním plynem

[Kč/rok]

$N_{CN}$  – celkové celoroční náklady na vytápění a přehřev TV pomocí TČ

[Kč/rok]

Náklady na vytápění a přípravu TV zemním plynem:

$$N_{zp} = 44777,84 \text{ Kč}$$

Celkové roční náklady na vytápění a přehřev TV pomocí TČ:

$$N_{CN} = 32516,56 \text{ Kč}$$

Po dosazení do vzorce (7.24):

$$U_r = 44777,84 - 32516,56 + 6500 = 18761,28 \text{ Kč / rok}$$

Výpočet prosté návratnosti – dosazení do vzorce (7.23):

$$d_n = \frac{158125,2}{18761,28} = 8,43 \text{ let}$$

## 8. Environmentální hodnocení

Environmentální hodnocení slouží ke stanovení množství emisí jednotlivých znečišťujících látek, kde mezi základní znečišťující látky patří TZL (tuhé znečišťující látky), SO<sub>2</sub> (oxid siřičitý), NO<sub>x</sub> (oxidy dusíku), CO (oxid uhelnatý) a CO<sub>2</sub> (oxid uhličitý), který je základním skleníkovým plynem. Tyto látky vznikají při vytápění pomocí plynového kotle, při výrobě elektrické energie, potřebné pro pohon kompresoru tepelného čerpadla.

Stanovení množství emisí vycházím z následujících tabulek emisních faktorů [24]:

TZL [kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	SO <sub>2</sub> [kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	CO [kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	Organické látky [kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ]	CO <sub>2</sub> [t/MWh]
20	9,6	1600	320	64	0,2

**Tabulka 8.1. Emisní faktory při spalování zemního plynu**

TZL [kg/GJ]	SO <sub>2</sub> [kg/GJ]	NO <sub>x</sub> [kg/GJ]	CO [kg/GJ]	Organické látky [kg/GJ]	CO <sub>2</sub> [kg/GJ]
0,02591	0,489376	0,415698	0,0393	0,03086	325

**Tabulka 8.2. Emisní faktory (energetický mix ČR)**



Porovnání množství vzniklých emisí při použití zemního plynu a TČ:

	TZL [kg/rok]	SO <sub>2</sub> [kg/rok]	NO <sub>x</sub> [kg/rok]	CO [kg/rok]	Organické látky [kg/rok]	CO <sub>2</sub> [kg/rok]
ZP	0,059311	0,028469	4,744844	0,948969	0,189794	5516,304
TČ	2,572497	48,58812	41,27294	3,901935	3,063962	32267,91

**Tabulka 8.3. Množství emisí vzniklých spalováním zemního plynu a použitím TČ**

Příklad výpočtu množství emisí NO<sub>x</sub> vyprodukovaných spalováním zemního plynu:

$$NOx_{ZP} = EF_{NOx,ZP} \cdot V_{ZP} \quad [kg / rok] \quad (8.1)$$

kde  $EF_{NOx,ZP}$  – emisní faktor zemního plynu pro NO<sub>x</sub> [kg/10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>]

$V_{ZP}$  – množství spáleného zemního plynu za rok [m<sup>3</sup>/rok]

Emisní faktor zemního plynu pro NO<sub>x</sub> má hodnotu:

$$EF_{NOx,ZP} = 1600 [kg/10^6 m^3]$$

Množství spáleného zemního plynu za rok (podle [23]):

$$V_{ZP} = 2965,53 [m^3/rok]$$

Množství emisí NO<sub>x</sub> – dosazení do (8.1):

$$NOx_{ZP} = 1600 \cdot 10^{-6} \cdot 2965,53 = 4,745 [kg / rok]$$

Stejným způsobem se provede výpočet množství emisí SO<sub>2</sub>, TZL, CO a organických látek.

Výpočet množství emisí CO<sub>2</sub>:

$$CO_{2,ZP} = \frac{\dot{Q}_{CT}}{\eta_{kotle}} \cdot EF_{CO_2} \quad [kg / rok] \quad (8.2)$$

kde  $\dot{Q}_{CT}$  – celková potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát objektu a přípravu teplé vody

[MWh/rok]

$\eta_{kotle}$  – účinnost kotle

[1]

$EF_{CO_2}$  – emisní faktor CO<sub>2</sub> pro zemní plyn

[t/MWh]

Celková potřeba tepla:

$$\dot{Q}_{CT} = 25,375 \text{ [MWh/rok]}$$

Účinnost kotle:

$$\eta_{kotle} = 0,92 \text{ [1]}$$

Emisní faktor CO<sub>2</sub> pro zemní plyn:

$$EF_{CO_2} = 0,2 \text{ [t/MWh]}$$

Po dosazení do (8.2):

$$CO_{2,ZP} = \frac{25,375}{0,92} \cdot 0,2 \cdot 10^3 = 5516,304 \text{ [kg / rok]}$$

Příklad výpočtu množství emisí NO<sub>x</sub> vyprodukovaných provozem TČ:

$$NOx_{TČ} = \frac{E_{CT}}{\eta_{kotle}} \cdot EF_{NOx,TČ} \quad [kg / rok] \quad (8.3)$$

kde  $E_{CT}$  – celková potřeba tepla na vytápění, předehřev a dohřev TV [GJ/rok]

$\eta_{kotle}$  – účinnost kotle

[1]

$EF_{NOx,TČ}$  – emisní faktor NO<sub>x</sub> pro energetický mix ČR

[kg/GJ]

Celková potřeba tepla na vytápění, předehřev a dohřev TV:

$$E_{CT} = 91,343 \text{ [GJ/rok]}$$

Účinnost kotle:

$$\eta_{kotle} = 0,92 \text{ [1]}$$

Emisní faktor NO<sub>x</sub> pro energetický mix ČR:

$$EF_{NOx,TC} = 0,415698 \text{ [kg/GJ]}$$

Po dosazení do (8.3):

$$NOx_{TC} = \frac{91,343}{0,92} \cdot 0,415698 = 41,273 \text{ [kg / rok]}$$

Stejným způsobem se provede výpočet množství emisí SO<sub>2</sub>, TZL, CO a organických látek.

## 9. Závěr

Cílem diplomové práce byl návrh tepelného čerpadla vzduch – voda pro vytápění a přípravu teplé vody v rodinném domě. V první kapitole diplomové práce je věnováno praktickému výpočtu tepelných ztrát obálkovou metodou podle norem ČSN 06 0210 a 73 1540-3: 1994, pro výpočtovou venkovní teplotu  $-15^{\circ}\text{C}$ . Výpočtem jsem určil tepelnou ztrátu rodinného domu  $\dot{Q}_{C, RD} = 7,9 \text{ kW}$ . Pro rodinný dům jsem navrhnul tepelné čerpadlo vzduch – voda s topným výkonem  $\dot{Q}_T = 6 \text{ kW}$  a bivalentním zdrojem (elektrickým topným tělesem) o výkonu 4,5 kW. Teplotu bivalentní bodu jsem stanovil na hodnotu  $-7^{\circ}\text{C}$ . Při podkročení této teploty se automaticky zapojí bivalentní zdroj a spolu s tepelným čerpadlem zajistí dostatek tepla pro vytápění a předehřev teplé vody až do teploty okolo  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Dále jsem vypočítal spotřebu tepla na vytápění a to dvěma způsoby. První způsob pomocí denostupňové metody podle normy ČSN 38 3350 a druhý způsob na základě průměrných teplot v otopném období dané lokality. Ze závěrečného zhodnocení vyplývá, že oba způsoby (denostupňovou metodou a na základě průměrných teplot v otopném období) ke spotřebě tepla na vytápění a ohřev TUV jsou tyto metody výpočtu téměř srovnatelné. Celková potřeba tepla na vytápění pro pokrytí tepelných ztrát objektu a potřeby tepla na předehřev a dohřev TV je  $\dot{Q}_{CT} = 25,375 \text{ MWh/rok}$ . V další části diplomové práce je věnováno popisu tepelných čerpadel, rozdělení, teoretický princip tepelného čerpadla a možnosti využití nízkopotenciálního tepla. Pro výpočet tepelného čerpadla jsem využil program EES, ve kterém jsem navrhl hlavní parametry tepelného čerpadla, jako např. chladicí výkon a topný faktor, hmotnostní průtok chladiva, izoentropickou práci, měrné objemy a průměry potrubí. Volba jednotlivých dílů tepelného čerpadla nezbytnou pro fungování tepelného čerpadla, jako např. výměníky tepla (výparník, kondenzátor,), kompresor, expanzní ventil, sběrač chladiva a další.

Pak jsem provedl ekonomické zhodnocení investičních a provozních nákladů tepelného čerpadla s jiným zdrojem tepla (např. kotel na zemní plyn). Při porovnání jsem došel k závěru náklady na provoz tepelného čerpadla na vytápění a předehřev teplé vody dosáhly  $N_{CN} = 32516,56 \text{ Kč}$ , ale za předpokladu, že bude TČ pracovat při nízkém tarifu (NT), který činí po dobu 22 hodin (platí 2407,61 Kč/MWh) a cena vysokého tarifu (VT) po dobu 2 hodin (platí 2910,44 Kč/MWh). Tato sazby elektrické energie platí D56d od společnosti ČEZ,a.s. Náklady na vytápění a přípravu teplé vody pomocí plynového kotle

dosáhly  $N_{ZP} = 44777,84$  Kč , pokud bude zemní plyn odebírán od společnosti RWE Energie, a.s. Po výpočtu celkových investičních nákladů dosáhly  $N_{CN} = 158125,2$  Kč a předpokládané úspory na provoz všech elektrospotřebičů v domácnosti dosáhly  $U_r = 18761,28$  Kč / rok . Prostá doba návratnost činí 8,43 let.

Životnost tepelného čerpadla je dána především životností kompresoru, která je závislá na počtu startů kompresoru. To lze ovlivnit akumulací tepla a správným dimenzováním výkonu čerpadla. Důležitá je i kvalitní regulace, která nenechá kompresor běžet v nevhodných podmínkách a minimalizuje počet startů kompresoru. Průměrná životnost kompresorů tepelných čerpadel se pohybuje kolem 10 – 15 let. Náklady na výměnu kompresoru za nový se dle typu a výkonu kompresoru pohybují okolo 20000 - 30000 Kč.

V závěru je provedeno environmentální zhodnocení ze kterého vyplývá, že vytápění TČ nejvíce příliž ekologické. Hlavním přínosem využití tepelného čerpadla je celkové snížení emisí (snížení produkce CO<sub>2</sub>). Emise, které vznikají výrobou potřebného množství elektřiny v místě výroby, jsou mnohem vyšší než emise, které vzniknou spálením potřebného množství zemního plynu v místě spotřeby.

## Seznam použité literatury

- [1] ŽERAVÍK, A. *Stavíme tepelné čerpadlo*. 1.vyd. vlastním nákladem: EURO – PRINT Přerov spol. s r.o., 2003. 312 s. ISBN: 80-239-0275-X.
- [2] NOVÝ, R a kol. *Technika prostředí*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. 267 s. ISBN: 80-01-03492-5.
- [3] Dvořák, Z., Klazar, L., Petrák, J. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987. 339 s.
- [4] KAMINSKÝ, J., VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1998, 102 s. ISBN: 80-7078-445-8.
- [5] SMOLÍK, J. *Technika prostředí*. 1.vyd. společně s n.p. ALFA Bratislava, Praha: SNTL- Nakladatelství technické literatury, 1985. 320 s.
- [6] DVOŘÁK, Z. *Výměníky tepla(pro hydraulické a pneumatické stroje)*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 1992. 121s.
- [7] DAHLSVEEN, T., PETRÁŠ, D., HIRŠ, J. *Energetický audit budov*. 1.vyd. Bratislava: Jaga group, v.o.s., 2003. 295s. ISBN 80-88905-86-9.
- [8] STÁRKOVÁ, M., MRÁZEK K. *Klimatologické údaje*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství Stavebně technický ústav – Energetika budov a. s., 2006. 277s.
- [9] ČSN 06 0210: *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Český normalizační institut, 1999, 28 s.
- [10] ČSN 730504 - 3: *Tepelná ochrana budov*. Český normalizační institut, 1993.
- [11] ČSN 38 3350: *Zásobování teplem, všeobecné zásady*. Český normalizační institut, 1991.
- [12] ČSN 06 0320 (060320) *Tepelné soustavy v budovách, Příprava teplé vody, Navrhování a projektování*, Český normalizační institut, 2006.
- [13] [www.schiessl.cz](http://www.schiessl.cz)
- [14] [www.walterroller.de](http://www.walterroller.de)
- [15] [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)
- [16] [www.reflexcz.cz](http://www.reflexcz.cz)
- [17] [www.regulus.cz](http://www.regulus.cz)
- [18] [www.emersonclimate.com](http://www.emersonclimate.com)
- [19] [www.vorczech.cz](http://www.vorczech.cz)
- [20] [www.spsstavhk.cz](http://www.spsstavhk.cz)

- [21] [www.e-cerpadla.cz](http://www.e-cerpadla.cz)
- [22] [www.zelenausporam.cz](http://www.zelenausporam.cz)
- [23] [www.rwe.cz](http://www.rwe.cz)
- [24] [www.sfzp.cz](http://www.sfzp.cz)
- [25] [www.cez.cz](http://www.cez.cz)

## **Použité výpočtové programy**

Microsoft Office Word 2003  
 Microsoft Office Excel 2003  
 Microsoft Office Picture Manager 2003  
 Engineering Equation Solver (EES)  
 Alfa Laval  
 Reflex

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1: Tepelné ztráty rodinného domu	A1
Příloha č. 2: Výpis z programu EES	A22
Příloha č. 3: Výsledné hodnoty v programu Alfa Laval pro kondenzátor CB30-26H.	A24
Příloha č. 4: Oběhové čerpadlo SEA-LAND CKR 180/45	A25
Příloha č. 5: Akumulační nádrž s elektrokotlem ANE	A26
Příloha č. 6: Zásobník TV Regulus RBC 200 A31	A27
Příloha č. 7: Expanzní nádoba Reflex N 8/6	A28
Příloha č. 8: SN2ESZ02 – 01: Přizemí	A29
Příloha č. 9: SN2ESZ02 – 02: Podkroví	A30
Příloha č. 10: SN2ESZ02 – 03: Řez objektem A-A'	A31
Příloha č. 11: SN2ESZ02 – 04: Řez objektem B-B'	A32
Příloha č. 12: SN2ESZ02 – 05: Pohledy rodinného domu	A33
Příloha č. 13: SN2ESZ02 – 06: Vnitřní vodovod 1.NP	A34

Příloha č. 14: SN2ESZ02 – 07: Vnitřní vodovod 2.NP	A35
Příloha č. 15: SN2ESZ02 – 08: Podlahové vytápění 1.NP	A36
Příloha č. 16: SN2ESZ02 – 09: Podlahové vytápění 2.NP	A37

## **Seznam výkresů**

- SN2ESZ02 – 10: Schéma zapojení TČ
- SN2ESZ02 – 11: Umístění TČ v objektu
- SN2ESZ02 – 12: Sestava tepelného čerpadla



## Přílohy

### Příloha č.1: Tepelné ztráty rodinného domu

<b>1.NP</b>		
<b>Místnost 1.01 - Zádveří</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}\text{C}]$	15
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}\text{C}]$	-15
<b>Pdl - Podlaha</b>	$\lambda [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}]$	$l [\text{m}]$
Keramická dlažba	1,01	0,01
Cementový potěr	1,14	0,01
Betonová mazanina + kari síť 150/150/8	1,43	0,15
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,08
Hydroizolace(Protiradonová a parotěsná zábrana Foaibit Al S 40)	0,2	0,004
Podkladní beton C 20/25	1,3	0,05
Plocha podlahy	$S [\text{m}^2]$	6,85
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}]$	0,331436
<b>SO1 - Sokl</b>	$\lambda [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}]$	$l [\text{m}]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Vyrovnávací omítka (zdící malta YTONG)	0,8	0,02
Lepicí malta Wildstone	0,22	0,01
Obklad - keramické mrazuvzdorné pásky	1,01	0,03
Plocha soklu	$S [\text{m}^2]$	0,8025
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}]$	0,244798
<b>SO2 - Obvodové stěny</b>	$\lambda [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}]$	$l [\text{m}]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [\text{m}^2]$	9,191875
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}]$	0,139271
<b>DO - Vchodové dveře</b>		
Plastové vchodové dveře Velux		
Plocha dveří	$S [\text{m}^2]$	2,1
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}]$	1,26
<b>Větrání a infiltrace</b>		
Součinitel spárové průvzdušnosti dveří a oken	$i_{LV} [\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-0,67}]$	0,00012
Celková délka spáry venkovních dveří	$L [\text{m}]$	6,1
Součet průvzdušnosti venkovních dveří	$\Sigma(i_{LV}\cdot L) [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-0,67}]$	0,000732
Charakteristické číslo budovy	$B [\text{Pa}^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [\text{m}^3]$	17,81
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [\text{h}^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$	0,002474
Potřebný průtok větracího vzduchu infilrací	$V_{VP} [\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$	0,004099
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [\text{W}]$	191,7885
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}]$	0,337459

Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1$ [1]	0,050619
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2$ [1]	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3$ [1]	0
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_p$ [W]	201,4966
Tepelná ztráta větráním	$Q_v$ [W]	159,8688
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_c</math> [W]</b>	<b>361,3654</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{c,zaokr.}</math> [W]</b>	<b>361</b>

<b>Místnost 1.02 - Garáž</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i$ [°C]	10
Výpočtová teplota vnější	$t_{e1}$ [°C]	-15
Výpočtová teplota vnější - teplota přilehlé zeminy	$t_{e2}$ [°C]	3
<b>Pdl - Podlaha</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Betonová mazanina + kari síť 150/150/8	1,43	0,15
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,08
Hydroizolace(Protiradonová a parotěsná zábrana Foaibit Al S 40)	0,2	0,004
Podkladní beton C 20/25	1,3	0,05
Plocha podlahy	S [m <sup>2</sup> ]	18,98
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,3335
<b>SO1 - Sokl</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Vyrovnávací omítka (zdící malta YTONG)	0,8	0,02
Lepicí malta Wildstone	0,22	0,01
Obklad - keramické mrazuvzdorné pásy	1,01	0,03
Plocha soklu	S [m <sup>2</sup> ]	2,5335
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,2448
<b>SO2 - Obvodové stěny</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	S [m <sup>2</sup> ]	25,5783
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,13927
<b>DO - Garážová vrata</b>		
Sekční garážová vrata		
Plocha dveří	S [m <sup>2</sup> ]	5,25
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	1,24
<b>OJ1 - Okna jednoduchá</b>		
Plastová okna Velux		
Plocha oken	S [m <sup>2</sup> ]	0,5
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	1,2
<b>OJ2 - Okna jednoduchá</b>		
Plastová okna Velux		
Plocha oken	S [m <sup>2</sup> ]	0,5
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	1,2
<b>Větrání a infiltrace</b>		

Součinitel spárové průvzdušnosti garážových vrat a oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00025
Celková délka spáry garážových vrat a oken	$L [m]$	15,2
Součet průvzdušnosti garážových vrat a oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,0038
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	49,348
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00685
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,02128
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	434,559
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,32587
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,04888
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P [W]$	477,528
Tepelná ztráta větráním	$Q_V [W]$	691,6
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_C [W]</math></b>	<b>1169,13</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,zaokr.} [W]</math></b>	<b>1169</b>

<b>Místnost 1.03 - Chodba</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	15
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
<b>Pdl - Podlaha</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Keramická dlažba	1,01	0,01
Cementový potěr	1,14	0,01
Betonová mazanina + kari síť 150/150/8	1,43	0,15
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,08
Hydroizolace(Protiradonová a parotěsná zábrana Foalbit Al S 40)	0,2	0,004
Podkladní beton C 20/25	1,3	0,05
Plocha podlahy	$S [m^2]$	8,36
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,3314
<b>SO - Obvodové stěny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,29
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,05
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	11,567
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,2037
<b>Větrání a infiltrace</b>		
Místnost není otevřena do okolí		
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	21,736
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,003
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	153,8
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,2573
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,0386
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0

Přirážka na světovou stranu	$p_3$ [1]	0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P$ [W]	167,43
Tepelná ztráta větráním	$Q_V$ [W]	117,74
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_C</math> [W]</b>	<b>285,16</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,zaokr.}</math> [W]</b>	<b>285</b>

<b>Místnost 1.04 - Schodiště</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i$ [°C]	15
Výpočtová teplota vnější	$t_e$ [°C]	-15
<b>Pdl - Podlaha</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Obklad z tvrdého dřeva	0,29	0,02
Lepicí tmel	0,22	0,005
Betonová mazanina + kari síť 150/150/8	1,43	0,15
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,08
Hydroizolace(Protiradonová a parotěsná zábrana Foalbit Al S 40)	0,2	0,004
Podkladní beton C 20/25	1,3	0,05
Plocha podlahy	S [m <sup>2</sup> ]	6,16
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,323604
<b>SO - Obvodové stěny</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,29
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,05
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Plocha stěny	S [m <sup>2</sup> ]	7,26975
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,203685
<b>Větrání a infiltrace</b>		
Místnost není otevřena do okolí		
Objem místnosti	$V_m$ [m <sup>3</sup> ]	16,016
Intenzita výměny vzduchu	$n_h$ [h <sup>-1</sup> ]	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH}$ [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	0,002224
Základní tepelná ztráta	$Q_0$ [W]	104,2242
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,25869
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1$ [1]	0,038803
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2$ [1]	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3$ [1]	0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P$ [W]	113,4796
Tepelná ztráta větráním	$Q_V$ [W]	86,75333
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_C</math> [W]</b>	<b>200,233</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,zaokr.}</math> [W]</b>	<b>200</b>

<b>Místnost 1.05 - Sklad</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i$ [°C]	15
Výpočtová teplota vnější	$t_e$ [°C]	-15
<b>Pdl - Podlaha</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Plovoucí laminátová podlaha	0,18	0,01
Pěnová fólie Mirelon	0,038	0,002

Betonová mazanina + kari síť 150/150/8	1,43	0,15
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,08
Hydroizolace(Protiradonová a parotěsná zábrana Foaibit Al S 40)	0,2	0,004
Podkladní beton C 20/25	1,3	0,05
Plocha podlahy	S [m <sup>2</sup> ]	5,26
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,321886
<b>SO - Obvodové stěny</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,29
Lepicí stěrka Baumiť	0,8	0,01
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,05
Lepicí stěrka Baumiť	0,8	0,01
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Plocha stěny	S [m <sup>2</sup> ]	6,36975
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,203685
<b>Větrání a infiltrace</b>		
Místnost není otevřena do okolí		
Objem místnosti	V <sub>m</sub> [m <sup>3</sup> ]	13,676
Intenzita výměny vzduchu	n <sub>h</sub> [h <sup>-1</sup> ]	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	V <sub>VH</sub> [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	0,001899
Základní tepelná ztráta	Q <sub>0</sub> [W]	89,71624
Průměrný součinitel prostupu tepla	k <sub>c</sub> [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,257146
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	p <sub>1</sub> [1]	0,038572
Přirážka na urychlení zátopy neuvažována	p <sub>2</sub> [1]	0
Přirážka na světovou stranu	p <sub>3</sub> [1]	0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	Q <sub>P</sub> [W]	97,66258
Tepelná ztráta větráním	Q <sub>V</sub> [W]	74,07833
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b>Q<sub>C</sub> [W]</b>	<b>171,7409</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b>Q<sub>C,zaokr.</sub> [W]</b>	<b>172</b>

<b>Místnost 1.06 - Koupelna+WC</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	t <sub>i</sub> [°C]	24
Výpočtová teplota vnější	t <sub>e</sub> [°C]	-15
<b>Pdl - Podlaha</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Keramická dlažba	1,01	0,01
Cementový potěr	1,14	0,01
Betonová mazanina + kari síť 150/150/8	1,43	0,15
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,08
Hydroizolace(Protiradonová a parotěsná zábrana Foaibit Al S 40)	0,2	0,004
Podkladní beton C 20/25	1,3	0,05
Plocha podlahy	S [m <sup>2</sup> ]	5,83
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,33144
<b>SO1 - Sokl</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Vyrovnávací omítka (zdící malta YTONG)	0,8	0,02
Lepicí malta Wildstone	0,22	0,01
Obklad - keramické mrazuvzdorné pásy	1,01	0,03
Plocha soklu	S [m <sup>2</sup> ]	0,4275

Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,2448
<b>SO2 - Obvodové stěny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baunit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baunit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baunit)	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	2,86
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,13927
<b>SO3 - Obvodové stěny - obklad za linkou 2000 mm</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Obklad Kwadro	1,01	0,01
Lepicí tmel	0,22	0,005
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baunit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baunit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baunit)	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	3,49313
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,13892
<b>OD1 - Okno dvojité</b>		
Plastová okna Velux		
Plocha oken	$S [m^2]$	0,9
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,2
<b>Větrání a infiltrace</b>		
Součinitel spárové průvzdušnosti dveří a oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00012
Celková délka spáry oken	$L [m]$	3,8
Součet průvzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00046
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	15,158
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00211
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00255
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	156,019
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,2961
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,04441
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,1
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P [W]$	178,551
Tepelná ztráta větráním	$Q_V [W]$	129,468
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_C [W]</math></b>	<b>308,018</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,zaokr.} [W]</math></b>	<b>308</b>

<b>Místnost 1.07 - Špíz</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	15
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
<b>Pdl - Podlaha</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Plovoucí laminátová podlaha	0,18	0,01

Pěnová fólie Mirelon	0,038	0,002
Betonová mazanina + kari síť 150/150/8	1,43	0,15
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,08
Hydroizolace(Protiradonová a parotěsná zábrana Foaibit Al S 40)	0,2	0,004
Podkladní beton C 20/25	1,3	0,05
Plocha podlahy	S [m <sup>2</sup> ]	3,99
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,32189
<b>SO1 - Sokl</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Vyrovňovací omítka (zdící malta YTONG)	0,8	0,02
Lepicí malta Wildstone	0,22	0,01
Obklad - keramické mrazuvzdorné pásy	1,01	0,03
Plocha soklu	S [m <sup>2</sup> ]	0,4095
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,2448
<b>SO2 - Obvodové stěny</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	S [m <sup>2</sup> ]	5,031
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,13927
<b>Větrání a infiltrace</b>		
Místnost není otevřena do okolí		
Objem místnosti	V <sub>m</sub> [m <sup>3</sup> ]	10,374
Intenzita výměny vzduchu	n <sub>h</sub> [h <sup>-1</sup> ]	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	V <sub>VH</sub> [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	0,00144
Základní tepelná ztráta	Q <sub>0</sub> [W]	62,5573
Průměrný součinitel prostupu tepla	k <sub>c</sub> [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,22112
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	p <sub>1</sub> [1]	0,03317
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	p <sub>2</sub> [1]	0
Přirážka na světovou stranu	p <sub>3</sub> [1]	0,1
Tepelná ztráta prostupem tepla	Q <sub>P</sub> [W]	70,8879
Tepelná ztráta větráním	Q <sub>V</sub> [W]	56,1925
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b>Q<sub>C</sub> [W]</b>	<b>127,08</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b>Q<sub>C,zaokr.</sub> [W]</b>	<b>127</b>

<b>Místnost 1.08 - Kuchyně</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	t <sub>i</sub> [°C]	20
Výpočtová teplota vnější	t <sub>e</sub> [°C]	-15
<b>Pdl - Podlaha</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Keramická dlažba	1,01	0,01
Cementový potěr	1,14	0,01
Betonová mazanina + kari síť 150/150/8	1,43	0,15
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,08
Hydroizolace(Protiradonová a parotěsná zábrana Foaibit Al S 40)	0,2	0,004
Podkladní beton C 20/25	1,3	0,05

Plocha podlahy	$S [m^2]$	9,18
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,33144
<b>SO1 - Sokl</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Vyrovnávací omítka (zdící malta YTONG)	0,8	0,02
Lepicí malta Wildstone	0,22	0,01
Obklad - keramické mrazuvzdorné pásy	1,01	0,03
Plocha soklu	$S [m^2]$	1,818
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,2448
<b>SO2 - Obvodové stěny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	7,306
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,13927
<b>SO3 - Obvodové stěny - obklad za linkou 2000 mm</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Obklad Kwadro	1,01	0,01
Lepicí tmel	0,22	0,005
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	4,9105
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,13892
<b>OD1 - Okno dvojité</b>		
Plastová okna Velux		
Plocha oken	$S [m^2]$	1,44
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,2
<b>Větrání a infiltrace</b>		
Součinitel spárové průvzdušnosti dveří a oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00012
Celková délka spáry oken	$L [m]$	5
Součet průvzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,0006
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	23,868
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00332
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00336
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	242,035
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,28049
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,04207
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,1
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P [W]$	276,422



Tepelná ztráta větráním	$Q_V$ [W]	152,88
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_C</math> [W]</b>	<b>429,302</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,zaokr.}</math> [W]</b>	<b>429</b>

<b>Místnost 1.09 - Obývací pokoj</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i$ [°C]	20
Výpočtová teplota vnější	$t_e$ [°C]	-15
<b>Pdl - Podlaha</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Plovoucí laminátová podlaha	0,18	0,01
Pěnová fólie Mirelon	0,038	0,002
Betonová mazanina + kari síť 150/150/8	1,43	0,15
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,08
Hydroizolace(Protiradonová a parotěsná zábrana Foalbit Al S 40)	0,2	0,004
Podkladní beton C 20/25	1,3	0,05
Plocha podlahy	S [m <sup>2</sup> ]	27,90
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,32189
<b>SO1 - Sokl</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Vyrovnávací omítka (zdící malta YTONG)	0,8	0,02
Lepicí malta Wildstone	0,22	0,01
Obklad - keramické mrazuvzdorné pásy	1,01	0,03
Plocha soklu	S [m <sup>2</sup> ]	3,11
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,2448
<b>SO2 - Obvodové stěny</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	S [m <sup>2</sup> ]	30,394
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,13927
<b>DO - Vchodové francouzské dveře</b>		
Dvojkřídlé plastové dveře Velux, francouzské okno levé		
Plocha dveří	S [m <sup>2</sup> ]	4,5
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	1,2
<b>OD1 - Okno dvojité</b>		
Plastová okna Velux		
Plocha oken	S [m <sup>2</sup> ]	2,1875
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	1,2
<b>Větrání a infiltrace</b>		
Součinitel spárové průvzdušnosti dveří a oken	$i_{LV}$ [m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ·Pa <sup>-0,67</sup> ]	0,00012
Celková délka spáry dveří a oken	L [m]	14,5
Součet průvzdušnosti dveří a oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L)$ [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ·Pa <sup>-0,67</sup> ]	0,00174
Charakteristické číslo budovy	B [Pa <sup>0,67</sup> ]	8
Charakteristické číslo místnosti	M [1]	0,7
Objem místnosti	V <sub>m</sub> [m <sup>3</sup> ]	72,54
Intenzita výměny vzduchu	$n_h$ [h <sup>-1</sup> ]	0,5

Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,01008
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00974
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	769,998
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,32309
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,04846
Přirážka na urychlení zátoku neuvážována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P [W]$	807,315
Tepelná ztráta větráním	$Q_V [W]$	458,413
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_C [W]</math></b>	<b>1265,73</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,zaokr.} [W]</math></b>	<b>1266</b>

<b>Místnost 1.10 - Pracovna</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	20
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
<b>Pdl - Podlaha</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Plovoucí laminátová podlaha	0,18	0,01
Pěnová fólie Mirelon	0,038	0,002
Betonová mazanina + kari síť 150/150/8	1,43	0,15
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,08
Hydroizolace(Protiradonová a parotěsná zábrana Foalbit Al S 40)	0,2	0,004
Podkladní beton C 20/25	1,3	0,05
Plocha podlahy	$S [m^2]$	12,83
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,321886
<b>SO1 - Sokl</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Vyrovnávací omítka (zdící malta YTONG)	0,8	0,02
Lepicí malta Wildstone	0,22	0,01
Obklad - keramické mrazuvzdorné pásy	1,01	0,03
Plocha soklu	$S [m^2]$	2,205
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,244798
<b>SO2 - Obvodové stěny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	21,06
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,139271
<b>OD1 - Okno dvojité</b>		
Plastová okna Velux		
Plocha oken	$S [m^2]$	1,5625
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,2
<b>Větrání a infiltrace</b>		
Součinitel spárové průvzdušnosti dveří a oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00012
Celková délka spáry oken	$L [m]$	5
Součet průvzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,0006

Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	33,358
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,004633
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00336
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	331,7169
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,25168
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,037752
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	-0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P [W]$	327,6541
Tepelná ztráta větráním	$Q_V [W]$	210,804
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_C [W]</math></b>	<b>538,4581</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,zaokr.} [W]</math></b>	<b>538</b>
<b>Celková tepelná ztráta podlaží</b>	<b><math>Q_{C,1NP} [W]</math></b>	<b>4855</b>
<b>Celková tepelná ztráta podlaží po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,1NP,zaokr.} [W]</math></b>	<b>4900</b>

<b>2.NP</b>		
<b>Místnost 2.01 - Chodba</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	15
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
<b>SO - Obvodové stěny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,29
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,05
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	11,5665
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,20368
<b>Sch1 - Střecha - prostup přes krokve</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL pod krokvemi	0,039	0,08
Krokve 120/180	0,31	0,14
Vzduchová mezera		
Difúzní fólie		
Střešní krytina - tašky Bramac		
Plocha krokví	$S [m^2]$	0,70372
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,35283
<b>Sch2 - Střecha - prostup přes izolaci mezi krokvemi</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL pod krokvemi	0,039	0,08
Minerální vlna ROCKWOOL mezi krokvemi	0,039	0,14
Vzduchová mezera		
Difúzní fólie		

Střešní krytina - tašky Bramac		
Plocha izolace	$S [m^2]$	3,24355
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,16744
<b>Str1 - Strop - prostup přes kleštiny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 100/180	0,31	0,18
Plocha kleštin	$S [m^2]$	0,71622
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,09649
<b>Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi kleštinami</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL mezi kleštinami	0,039	0,22
Plocha izolace	$S [m^2]$	4,35825
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,16744
<b>Větrání a infiltrace</b>		
Místnost není otevřena do okolí		
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	28,9163
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00402
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	139,871
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,22646
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,03397
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P [W]$	151,616
Tepelná ztráta větráním	$Q_V [W]$	156,63
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_C [W]</math></b>	<b>308,245</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,zaokr.} [W]</math></b>	<b>308</b>

<b>Místnost 2.02 - Schodiště</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	15
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
<b>SO - Obvodové stěny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,29
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Tepelná izolace(extrudovaný polystyren)	0,030	0,05
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	7,26975
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,20368
<b>Sch1 - Střecha - prostup přes krokve</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL pod krokvemi	0,039	0,08
Krokve 120/180	0,31	0,14
Vzduchová mezera		
Difúzní fólie		

Střešní krytina - tašky Bramac		
Plocha krokví	$S [m^2]$	0,569
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,35283
<b>Sch2 - Střecha - prostup přes izolaci mezi krokvy</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL pod krokvy	0,039	0,08
Minerální vlna ROCKWOOL mezi krokvy	0,039	0,14
Vzduchová mezera		
Difúzní fólie		
Střešní krytina - tašky Bramac		
Plocha izolace	$S [m^2]$	1,69465
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,16744
<b>Str1 - Strop - prostup přes kleštiny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 100/180	0,31	0,18
Plocha kleštin	$S [m^2]$	0,5815
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,09649
<b>Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi kleštinami</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL mezi kleštinami	0,039	0,22
Plocha izolace	$S [m^2]$	3,258
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,16744
<b>Větrání a infiltrace</b>		
Místnost není otevřena do okolí		
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	18,1744
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00252
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	94,4508
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,23543
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,03531
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P [W]$	102,509
Tepelná ztráta větráním	$Q_V [W]$	98,4445
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_C [W]</math></b>	<b>200,953</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,zaokr.} [W]</math></b>	<b>201</b>

<b>Místnost 2.03 - Koupelna+WC</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	24
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
<b>SO1- Obvodové stěny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01

Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	9,68344
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,13927
<b>SO2 - Obvodové stěny - obklad za linkou 2000 mm</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Obklad Kwadro	1,01	0,01
Lepicí tmel	0,22	0,005
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	3,49313
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,13892
<b>Sch1 - Střecha - prostup přes krokve</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL pod krokvemi	0,039	0,08
Krokve 120/180	0,31	0,14
Vzduchová mezera		
Difúzní fólie		
Střešní krytina - tašky Bramac		
Plocha krokví	$S [m^2]$	0,82195
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,35283
<b>Sch2 - Střecha - prostup přes izolaci mezi krokvemi</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL pod krokvemi	0,039	0,08
Minerální vlna ROCKWOOL mezi krokvemi	0,039	0,14
Vzduchová mezera		
Difúzní fólie		
Střešní krytina - tašky Bramac		
Plocha izolace	$S [m^2]$	4,87296
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,16744
<b>Str1 - Strop - prostup přes kleštiny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 100/180	0,31	0,18
Plocha kleštin	$S [m^2]$	0,83445
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,09649
<b>Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi kleštinami</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL mezi kleštinami	0,039	0,22
Plocha izolace	$S [m^2]$	6,76125
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,16744
<b>OJ1 - Střešní okno</b>		
Plastové okno s dřevěným jádrem Velux		
Plocha okna	$S [m^2]$	0,9204
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,3

<b>Větrání a infiltrace</b>		
Součinitel spárové průvzdušnosti dveří a oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00012
Celková délka spáry oken	$L [m]$	3,92
Součet průvzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00047
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	24,2086
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00336
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00263
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	241,151
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,22577
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,03387
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P [W]$	261,376
Tepelná ztráta větráním	$Q_V [W]$	170,469
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_C [W]</math></b>	<b>431,844</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,zaokr.} [W]</math></b>	<b>432</b>

<b>Místnost 2.04 - Pokoj 1</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	20
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
<b>SO1 - Obvodové stěny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	11,7563
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,13927
<b>SO2 - Prostup přes příčku a vnější zed'</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Příčky Ytong	0,12	0,125
Vzduchová mezera	0,0262	0,61
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,12
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	0,42662
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,03174
<b>Sch1 - Střecha - prostup přes krokve</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL pod krokvemi	0,039	0,08
Krokve 120/180	0,31	0,14
Vzduchová mezera		

Difúzní fólie		
Střešní krytina - tašky Bramac		
Plocha krokví	$S [m^2]$	1,00737
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,35283
<b>Sch2 - Střecha - prostup přes izolaci mezi krokvy</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL pod krokvy	0,039	0,08
Minerální vlna ROCKWOOL mezi krokvy	0,039	0,14
Vzduchová mezera		
Difúzní fólie		
Střešní krytina - tašky Bramac		
Plocha izolace	$S [m^2]$	7,93707
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,16744
<b>Str1 - Strop - prostup přes kleštiny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 100/180	0,31	0,18
Plocha kleštin	$S [m^2]$	1,01987
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,09649
<b>Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi kleštinami</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL mezi kleštinami	0,039	0,22
Plocha izolace	$S [m^2]$	10,53
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,16744
<b>OD1 - Okno dvojité</b>		
Plastová okna Velux		
Plocha oken	$S [m^2]$	1,5625
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,2
<b>OJ2 - Střešní okno</b>		
Plastové okno s dřevěným jádrem Velux		
Plocha okna	$S [m^2]$	0,9204
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,3
<b>Větrání a infiltrace</b>		
Součinitel spárové průvzdušnosti dveří a oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00012
Celková délka spáry oken	$L [m]$	8,92
Součet průvzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00107
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	29,3906
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00408
Potřebný průtok větracího vzduchu infilrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00599
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	325,085
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,26417
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,03963
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,05



Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P$ [W]	354,221
Tepelná ztráta větráním	$Q_V$ [W]	272,738
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_C</math> [W]</b>	<b>626,959</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,zaokr.}</math> [W]</b>	<b>627</b>

<b>Místnost 2.05 - Pokoj 2</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i$ [°C]	20
Výpočtová teplota vnější	$t_e$ [°C]	-15
<b>SO1- Obvodové stěny</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	S [m <sup>2</sup> ]	11,6634
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,13927
<b>SO2 - Prostup přes příčku a vnější zeď</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Příčky Ytong	0,12	0,125
Vzduchová mezera	0,0262	0,61
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,12
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	S [m <sup>2</sup> ]	0,44437
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,03174
<b>Sch1 - Střecha - prostup přes krokve</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL pod krokvemi	0,039	0,08
Krokve 120/180	0,31	0,14
Vzduchová mezera		
Difúzní fólie		
Střešní krytina - tašky Bramac		
Plocha krokví	S [m <sup>2</sup> ]	0,99907
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,35283
<b>Sch2 - Střecha - prostup přes izolaci mezi krokvemi</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL pod krokvemi	0,039	0,08
Minerální vlna ROCKWOOL mezi krokvemi	0,039	0,14
Vzduchová mezera		
Difúzní fólie		
Střešní krytina - tašky Bramac		
Plocha izolace	S [m <sup>2</sup> ]	7,78658
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,16744
<b>Str1 - Strop - prostup přes kleštiny</b>	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	l [m]

Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 100/180	0,31	0,18
Plocha kleštin	$S [m^2]$	1,01157
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,09649
<b>Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi kleštinami</b>		
	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL mezi kleštinami	0,039	0,22
Plocha izolace	$S [m^2]$	10,3613
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,16744
<b>OD1 - Okno dvojité</b>		
Plastová okna Velux		
Plocha oken	$S [m^2]$	1,5625
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,2
<b>OJ2 - Střešní okno</b>		
Plastové okno s dřevěným jádrem Velux		
Plocha okna	$S [m^2]$	0,9204
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,3
<b>Větrání a infiltrace</b>		
Součinitel spárové průvzdušnosti dveří a oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00012
Celková délka spáry oken	$L [m]$	8,92
Součet průvzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00107
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	29,1586
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00405
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00599
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	322,361
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,26505
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,03976
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P [W]$	351,295
Tepelná ztráta větráním	$Q_V [W]$	272,738
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_C [W]</math></b>	<b>624,033</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,zaokr.} [W]</math></b>	<b>624</b>

<b>Místnost 2.06 - Ložnice</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	20
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
<b>SO1- Obvodové stěny</b>		
	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01

Plocha stěny	$S [m^2]$	11,6944
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,13927
<b>SO2 - Prostup přes příčku a vnější zed'</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Příčky Ytong	0,12	0,125
Vzduchová mezera	0,0262	0,61
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baunit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,12
Lepicí stěrka Baunit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baunit)	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	0,86091
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,03174
<b>Sch1 - Střecha - prostup přes krokve</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL pod krokvemi	0,039	0,08
Krokve 120/180	0,31	0,14
Vzduchová mezera		
Difúzní fólie		
Střešní krytina - tašky Bramac		
Plocha krokví	$S [m^2]$	1,00184
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,35283
<b>Sch2 - Střecha - prostup přes izolaci mezi krokvemi</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL pod krokvemi	0,039	0,08
Minerální vlna ROCKWOOL mezi krokvemi	0,039	0,14
Vzduchová mezera		
Difúzní fólie		
Střešní krytina - tašky Bramac		
Plocha izolace	$S [m^2]$	7,83661
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,16744
<b>Str1 - Strop - prostup přes kleštiny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 100/180	0,31	0,18
Plocha kleštin	$S [m^2]$	1,01434
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,09649
<b>Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi kleštinami</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL mezi kleštinami	0,039	0,22
Plocha izolace	$S [m^2]$	9,6675
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,16744
<b>OD1 - Okno dvojité</b>		
Plastová okna Velux		
Plocha oken	$S [m^2]$	1,5625
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,2

<b>Větrání a infiltrace</b>		
Součinitel spárové průvzdušnosti dveří a oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00012
Celková délka spáry oken	$L [m]$	5
Součet průvzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,0006
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	29,2359
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00406
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00336
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	277,464
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,23567
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,03535
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P [W]$	287,272
Tepelná ztráta větráním	$Q_V [W]$	184,755
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_C [W]</math></b>	<b>472,027</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,zaokr.} [W]</math></b>	<b>472</b>

<b>Místnost 2.07 - Pracovna</b>		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	20
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
<b>SO1- Obvodové stěny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,120
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	9,59063
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,13927
<b>SO2 - Prostup přes příčku a vnější zed'</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka (vápenosádrová)	0,7	0,01
Příčky Ytong	0,12	0,125
Vzduchová mezera	0,0262	0,61
Obvodové zdivo (tvárnice YTONG)	0,096	0,365
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Fasádní polystyren	0,038	0,12
Lepicí stěrka Baumit	0,8	0,01
Silikátová šlechtěná omítka (Baumit)	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	0,641
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,03174
<b>Sch1 - Střecha - prostup přes krokve</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL pod krokvemi	0,039	0,08
Krokve 120/180	0,31	0,14
Vzduchová mezera		

Difúzní fólie		
Střešní krytina - tašky Bramac		
Plocha krokví	$S [m^2]$	0,81365
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,35283
<b>Sch2 - Střecha - prostup přes izolaci mezi krokvy</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL pod krokvy	0,039	0,08
Minerální vlna ROCKWOOL mezi krokvy	0,039	0,14
Vzduchová mezera		
Difúzní fólie		
Střešní krytina - tašky Bramac		
Plocha izolace	$S [m^2]$	4,75029
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,16744
<b>Str1 - Strop - prostup přes kleštiny</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 100/180	0,31	0,18
Plocha kleštin	$S [m^2]$	0,82615
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,09649
<b>Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi kleštinami</b>	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,0125
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Minerální vlna ROCKWOOL mezi kleštinami	0,039	0,22
Plocha izolace	$S [m^2]$	6,5925
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,16744
<b>OJ1 - Střešní okno</b>		
Plastové okno s dřevěným jádrem Velux		
Plocha okna	$S [m^2]$	0,9204
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,3
<b>Větrání a infiltrace</b>		
Součinitel spárové průvzdušnosti dveří a oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00012
Celková délka spáry oken	$L [m]$	3,92
Součet průvzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00047
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	23,9766
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00333
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00263
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	197,565
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,23388
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,03508
Přirážka na urychlení zátopy neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	-0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P [W]$	194,618
Tepelná ztráta větráním	$Q_V [W]$	151,519
<b>Celková tepelná ztráta</b>	<b><math>Q_C [W]</math></b>	<b>346,136</b>
<b>Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,zaokr.} [W]</math></b>	<b>346</b>

<b>Celková tepelná ztráta podloží</b>	<b><math>Q_{C,2NP}</math> [W]</b>	<b>3010</b>
<b>Celková tepelná ztráta podlaží po zaokrouhlení</b>	<b><math>Q_{C,2NP,zaokr.}</math> [W]</b>	<b>3000</b>
<b>Celková tepelná ztráta rodinného domu</b>	<b><math>Q_{C,RD}</math> [W]</b>	<b>7900</b>

## Příloha č. 2: Výpis z programu EES

```

Q_T=6 [kW]           {Topný výkon }
t_K=55 [°C]          {Kondenzační teplota} { Teplota páry na začátku kondenzace}
T[0]=-4 [°C]         {Teplota vypařování}

DELTA_t_V=3 [°C]      {Přehřátí ve výparníku}
DELTA_t_K=3 [°C]      {Podchlazení v kondenzátoru}

P[1]=Pressure(R404A;T=T[0];h=h_01)
P[2]=Pressure(R404A;T=T_K;h=h_02)
P[3]=P[2]
P[4]=P[1]
P[5]=P[1]

h_01=Enthalpy(R404A;T=T[0];x=1)
h[1]=Enthalpy(R404A;T=T[1];P=P[1]) { Hodnota entalpie páry na vstupu do kompresoru}
h_02=Enthalpy(R404A;T=T_K;x=1)
h_2_ie=Enthalpy(R404A;P=P[2];s=s[1]) {Teoretická hodnota entalpie páry po kompresi v
kompresoru (?kompresoru = 100 % )}
h_03=Enthalpy(R404A;T=T[4];x=0)
h[3]=Enthalpy(R404A;T=T[5];P=P[2]) {Hodnota entalpie kapaliny na konci kondenzace a
podchlazení v kondenzátoru}
h[4]=h[3] {Hodnota entalpie mokré páry po expanzi na expanzním ventilu}
h[5]=h[1]
s[0]=Entropy(R404A;T=T[0];x=1)
s[1]=Entropy(R404A;T=T[0]+DELTA_t_V;P=P[1])
s[2]=Entropy(R404A;T=T[2];P=P[2])
s[3]=Entropy(R404A;T=T[3];x=1)
s[4]=Entropy(R404A;T=T[4];x=0)
s[5]=Entropy(R404A;T=T[5];P=P[2])
s[6]=Entropy(R404A;T=T[6];P=P[1])
s[7]=s[0]
x_4=Quality(R404A;T=T[6];h=h[4])
T[1]=T[0]+DELTA_t_V
T_2_ie=Temperature(R404A;P=P[2];h=h_2_ie) {Teoretická teplota páry po kompresi v
kompresoru (?kompresoru = 100 %)}
T[2]=Temperature(R404A;P=P[2];h=h[2]) { Skutečná teplota páry po kompresi v
kompresoru (?kompresoru = 70 %)}
T[3]=Temperature(R404A;P=P[2];x=1) {Teplota kapaliny po podchlazení v
kondenzátoru }
T[4]=Temperature(R404A;P=P[2];x=0) {Teplota mokré páry po expanzi na expanzním ventilu}
T[5]=T[4]-DELTA_t_K
T[6]=Temperature(R404A;P=P[1];h=h[4])
T[7]=T[0]
eta_kompresoru=0,7
eta_kompresoru=(h_2_ie-h[1])/(h[2]-h[1])

```

```

sigma=P[2]/P[1]           { Výpočet kompresního poměru}
qq_T=h[2]-h[3]            {Výpočet skutečné hmotové topivosti}
qq_T_t=h_2_ie-h[3]       {Výpočet teoretické hmotové topivosti}
qq_0=h[1]-h[4]           {Výpočet hmotové chladivosti}
a_t=h_2_ie-h[1]          {Výpočet teoretické měrné práce kompresoru}
a=h[2]-h[1]              {Výpočet skutečné měrné práce kompresoru}
epsilon_T=qq_T/a          {Výpočet topného faktoru}
epsilon_T_t=qq_T_t/a_t    {Výpočet teoretického topného faktoru}
epsilon_T_sk=Q_T/(P_kompresoru+P_čerpadla)
epsilon_ch=qq_0/a         {Výpočet chladicího faktoru}
phi=Q_T/Q_0               { Výpočet čerpacího poměru}
Q_T=qq_T*m_dot
Q_0=qq_0*m_dot           {Výpočet chladicího výkonu}
m_dot_h=m_dot*3600
P_čerpadla=0,37
P_kompresoru=a*m_dot      {Výpočet příkonu kompresoru}
P_kompresoru_t=a_t*m_dot {Výpočet teoretického příkonu kompresoru}
Kontrola=Q_T-(Q_0+P_kompresoru) {Provedení kontroly}

```

#### {Výpočet potrubí}

```

rho_sací= Density(R404A;T=T[1];P=P[1])
rho_výtlačná= Density(R404A;T=T[2];P=P[2])
rho_kapalina= Density(R404A;T=T[5];P=P[2])
V_dot_d=m_dot/rho_sací*3600
V_dot_sací=m_dot/rho_sací
V_dot_výtlačná=m_dot/rho_výtlačná
V_dot_kapalina=m_dot/rho_kapalina
w_sací=5
w_výtlačná=9
w_kapalina=0,6
V_dot_sací=pi*d_sací^2/4*w_sací
V_dot_výtlačná=pi*d_výtlačná^2/4*w_výtlačná
V_dot_kapalina=pi*d_kapalina^2/4*w_kapalina

```

#### SOLUTION

##### Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

```

a = 44,9
Δtv = 3 [°C]
dvýtlačná = 0,00723
εT,sk = 2,463
h01 = 216,2
h2,ie = 250,5
ṁh = 165,6
Pkompresoru = 2,066
qqT = 130,4
QT = 6 [kW]
ρvýtlačná = 124,5
tk = 55 [°C]
Ṡsací = 0,001747
Wsací = 5

```

```

at = 31,43
dkapalina = 0,01047
εch = 1,904
εT,t = 3,721
h02 = 234,1
Kontrola = 0
φ = 1,525
Pkompresoru,t = 1,446
qqT,t = 116,9
ρkapalina = 890,5
σ = 4,844
Ṡd = 6,29
Ṡvýtlačná = 0,0003695
Wvýtlačná = 9

```

```

Δtk = 3 [°C]
dsací = 0,02109
εT = 2,904
ηkompresoru = 0,7
h03 = 138,9
Ṡ = 0,04601
Pčerpadla = 0,37
qq0 = 85,51
Q0 = 3,934
ρsací = 26,33
T2,ie = 64,77
Ṡkapalina = 0,00005167
Wkapalina = 0,6
x4 = 0,5116

```

**Arrays Table:Main**

Sort	<b>h<sub>i</sub></b>	<b>P<sub>i</sub></b>	<b>s<sub>i</sub></b>	<b>T<sub>i</sub></b>
	[kJ/kg]	kPa	[kJ/kg]	[°C]
0			0,8162	-4
1	219	531	0,8267	-1
2	263,9	2572	0,866	74,29
3	133,5	2572	0,7776	55
4	133,5	531	0,4873	54,73
5	219	531	0,4707	51,73
6			0,5078	-4,276
7			0,8162	-4

**Příloha č. 3: Výsledné hodnoty v programu Alfa Laval pro kondenzátor CB30-26H.**

Typ : AlfaNova 27-20HS1S2ThreaExt1"S3S4Solde1 1/8"

Výpočet : Datum : 5.2.2012

		<b>Horká strana</b>	<b>Studená strana</b>
		<b>Primary side(S4)</b>	<b>Secondary side</b>
Kapalina		R404A	Voda
Hmotnostní průtok	kg/h	156.9	344.9
Zkondenzované médium/Odpařený	kg/h	156.9	0.000
Vstupní teplota	°C	74.3	35.0
Mez sytosti	°C	55.0	
Výstupní teplota(plyn/liquid)	°C	54.7/49.7	50.0
Provozní tlak(Vstup/Výstup)	bara	26.2/26.2	
Tlaková ztráta	kPa	0.635	0.731
Rychlost připojení(Vstup/Výstup)	m/s	0.839/0.109	0.232/0.234
Výměna tepla	kW	6.000	
Rezerva	%	12	
Relative direction of the fluids		Protiproud	
Počet chodů		1	1
Počet desek		20	
Součinitel prostup tepla k	W/m*K	1192	
Skladba		1*9H	1*10H
		<b>Side1</b>	<b>Side2</b>
Počet chodů		1	1
Materiál deska/ pájený		Alloy 316 / SS	
ZapojeníS1 (Studená-Výstup)		Závit (vnější)/ 1" ISO 228/1-G (B21) Alloy 316	
ZapojeníS2 (Studená-Vstup)		Závit (vnější)/ 1" ISO 228/1-G (B21) Alloy 316	
ZapojeníS3 (Horká-Výstup)		Pájený/ 1 1/8" (H21) Alloy 316	



ZapojeníS4 (Horká-Vstup)

Pájený/ 1 1/8" (H21) Alloy 316

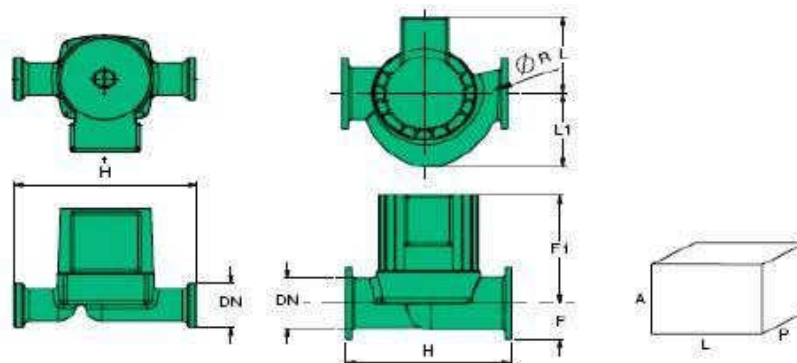
Kód tlakové nádoby	PED	
Návrhový tlak v90.0 °C	Bar	30.0 25.0
Návrhový tlak v225.0 °C	Bar	26.0 21.0
Návrhová teplota	°C	-196.0/225.0
Celková délka x šířka x výška	mm	83 x 111 x 310
Čistá váha, prázdná/provozní	kg	4.38 / 4.38
Priceincl Extras RCPL:		26365 CZK

Provoz výměníku bude odpovídat této specifikaci jen v případě dodržení provozních podmínek, pro které byla tato specifikace vypracována.

### Physical Properties

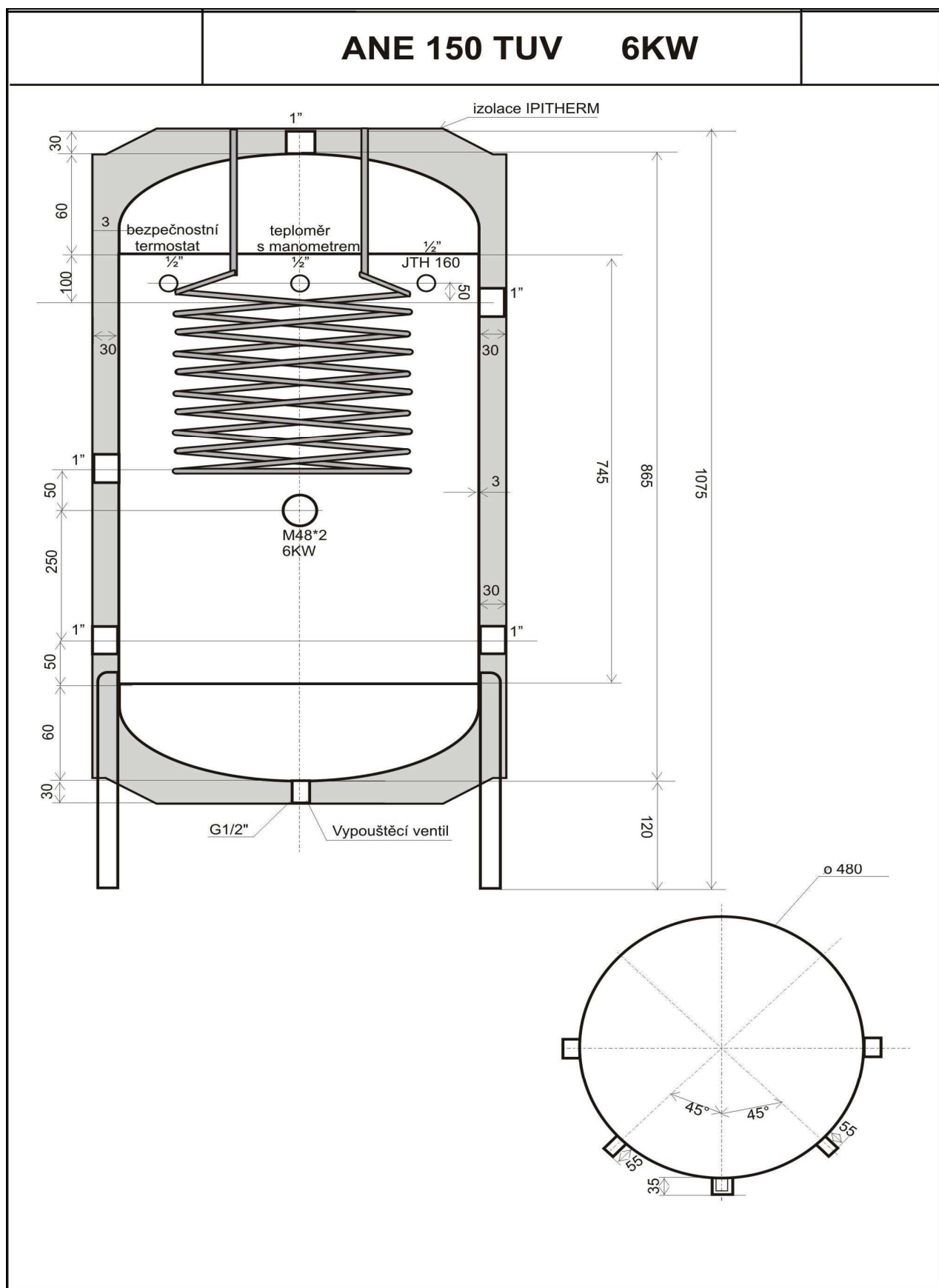
(vstup/výstup)	Horká strana		Studená strana	
	Kapalina	Plyn	Kapalina	Plyn
Hust	853.0/961.8	125.1/153.9	992.7/986.8	
Sp. teplo	2.014/1.789	1.399/2.130	4.179/4.17	
Visk	0.0875/0.109	0.0202/0.0172	0.721/0.546	
Tep. vodivost	0.0503/0.0592	0.0183/0.0166	0.624/0.642	
Bub. p.		54.7/54.7		
Mez sytosti		55.0/55.0		
Mol.W		97.60/97.60		
Cr.pr.		37.29/37.29		
Cr.temp.		72.0/72.0		
Lat. teplo		94.6/95.3		

### Příloha č. 4: Oběhové čerpadlo SEA-LAND CKR 180/45

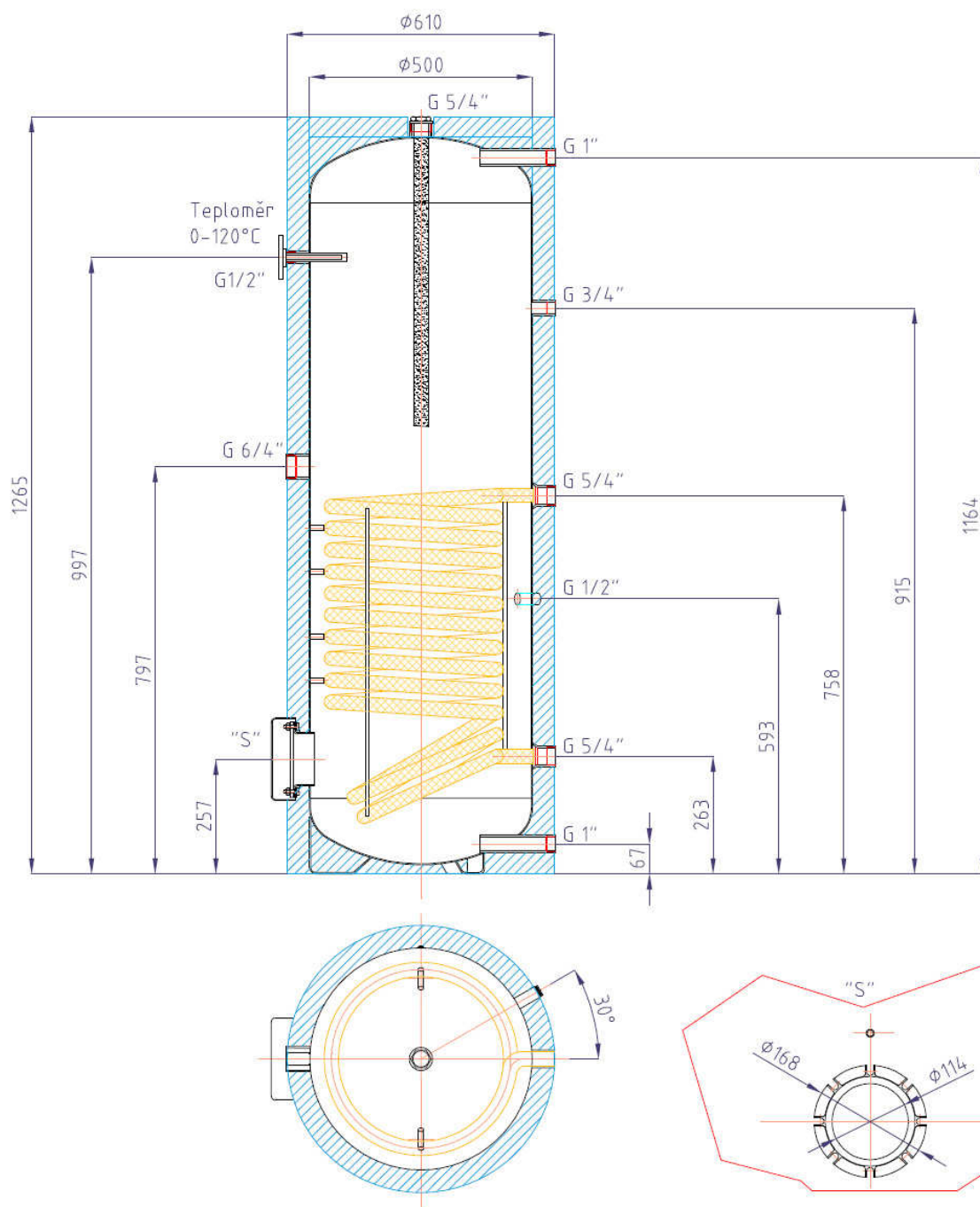


TYP	ROZMĚRY (mm)								OBAL (mm)			kg
	L1	L2	H	DNA	DNM	F	F1	R	A	L	P	
CKR 130/45	-	-	130	1 1/2"	1 1/2"	-	-	-	150	135	200	2,4
CKR 180/45	-	-	180	1 1/2"	1 1/2"	-	-	-	150	135	200	2,6

**Příloha č. 5: Akumulační nádrže s elektrokotlem ANE**

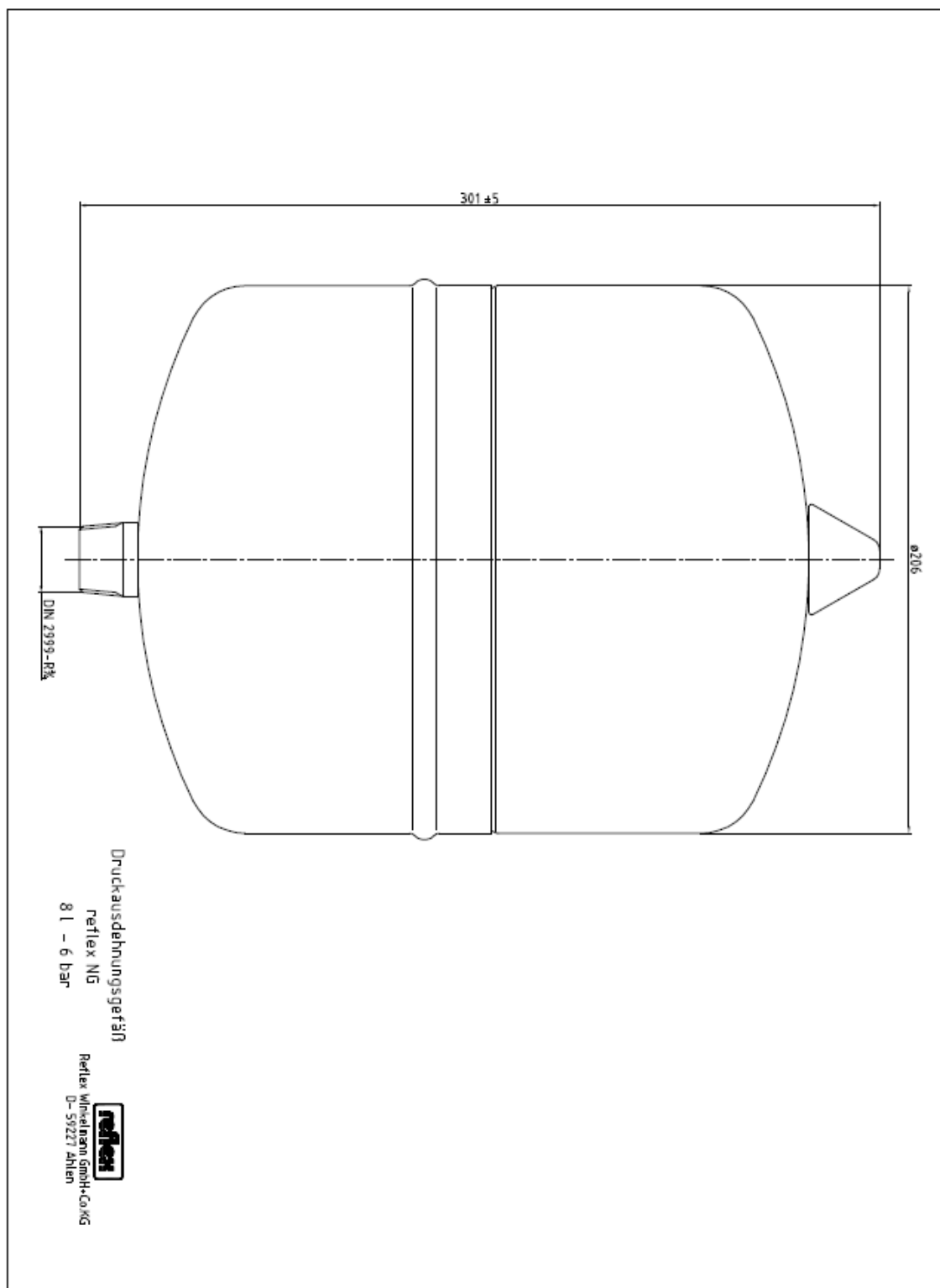


## Příloha č. 6: Zásobník TV Regulus RBC 200



Celkový objem zásobníku:	200 l
Objem topného hada:	9,5 l
Plocha topného hada:	1,5 m <sup>2</sup>
Maximální provozní teplota zásobníku:	95 °C
Maximální provozní teplota topného hada:	110 °C
Maximální provozní tlak zásobníku:	10 bar
Maximální provozní tlak topného hada:	10 bar
Příprava TV $\Delta t=35^{\circ}\text{C}$ (80/60 - 10/45):	1280(51,9) l/h(kW)
Hmotnost prázdné nádrže:	82 kg

## Příloha č. 7: Expanzní nádoba Reflex N 8/6



























### Poděkování

V závěru bych chtěl poděkovat doc. Ing. Mojmírovi Vrtkovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultaci během vypracování mé diplomové práce, poskytnutí odborných rad a vlastních zkušeností.